

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

PAULO ANDRÉ TRAZZI

**USO DO BIOCARVÃO NA PRODUÇÃO DE MUDAS E NO CRESCIMENTO
INICIAL DE *Pinus taeda* L.**

CURITIBA

2014

VISIT...

LANZAROTE
Caliente.COM

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

PAULO ANDRÉ TRAZZI

**USO DO BIOCARVÃO NA PRODUÇÃO DE MUDAS E NO CRESCIMENTO
INICIAL DE *Pinus taeda* L.**

Tese apresentada como requisito parcial à obtenção do grau de Doutor em Engenharia Florestal, no Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

Orientador:

Prof. Ph.D. Antonio Rioyei Higa

Co-orientadores:

Prof. Ph.D. Antonio Salvio Mangrich e

Prof. Ph.D. Jeferson Dieckow

CURITIBA

2014

Ficha catalográfica elaborada por Denis Uezu – CRB 1720/PR
Biblioteca de Ciências Florestais e da Madeira - UFPR

Trazzi, Paulo André

Uso do biocarvão na produção de mudas e no crescimento inicial de *Pinus taeda* L. / Paulo André Trazzi. – 2014

117 f. : il.

Orientador: Prof. Ph.D. Antonio Rioyei Higa

Coorientadores: Prof. Ph.D. Antonio Salvio Mangrich

Prof. Ph.D. Jeferson Dieckow

Tese (doutorado) - Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal. Defesa: Curitiba, 21/11/2014.

Área de concentração: Silvicultura

1. Solos florestais - Fertilização. 2. Biomassa. 3. *Pinus taeda*. 4. Árvores – Mudas. 5. Teses. I. Higa, Antonio Rioyei. II. Mangrich, Antonio Salvio. III. Dieckow, Jeferson. IV. Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias. V. Título.

CDD – 634.9

CDU – 634.0.237.4



Universidade Federal do Paraná
Setor de Ciências Agrárias - Centro de Ciências Florestais e da Madeira
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal

PARECER

Defesa nº. 1062

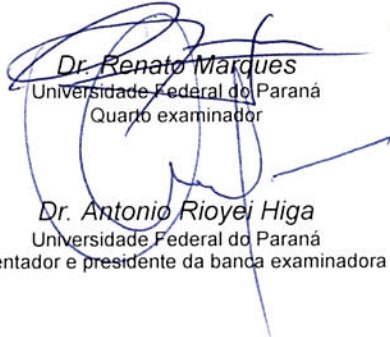
A banca examinadora, instituída pelo colegiado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, do Setor de Ciências Agrárias, da Universidade Federal do Paraná, após arguir o(a) doutorando(a) *Paulo André Trazzi* em relação ao seu trabalho de tese intitulado "**USO DE BIOCÁRVÃO NA PRODUÇÃO DE MUDAS E CRESCIMENTO INICIAL DE *Pinus taeda* L.**", é de parecer favorável à APROVAÇÃO do(a) acadêmico(a), habilitando-o(a) ao título de *Doutor* em Engenharia Florestal, área de concentração em SILVICULTURA.


Dr. Renato Ribeiro Passos
Centro de Ciências Agrárias da UFES
Primeiro examinador


Dr. Beata Eموke Madari
Embrapa Arroz e Feijão
Segundo examinador


Dr. Josiléia Acordi Zanatta
Embrapa Florestas
Terceiro examinador




Dr. Renato Marques
Universidade Federal do Paraná
Quarto examinador

Dr. Antonio Riroyei Higa
Universidade Federal do Paraná
Orientador e presidente da banca examinadora

Curitiba, 21 de novembro de 2014.


Antonio Carlos Batista
Coordenador do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal

À minha avó, meu maior exemplo,
Ao meu pai, meu maior ídolo,
À minha mãe, minha maior incentivadora,
À minha irmã, minha melhor amiga,
Dedico.

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador Antonio Higa, que acreditou em mim antes mesmo de iniciar o doutorado e investiu seu tempo no meu aprendizado. Que mesmo sem a intenção, foi o meu exemplo, a minha inspiração da vida acadêmica e profissional. Deixo aqui meus sinceros agradecimentos e a minha profunda admiração e gratidão.

Aos meus co-orientadores, Antonio Mangrich e Jeferson Dieckow, que permitiram a minha aproximação e contribuíram para o desenvolvimento da minha pesquisa.

Aos membros da banca, os doutores Renato Passos, Beata Madari, Josileia Zanatta, Renato Marques e Rosana Higa, que gentilmente colaboraram e contribuíram para uma melhor elaboração deste trabalho.

Aos meus supervisores da Universidade de Limerick, Witold Kwapinski e J.J. Leahy, com quem pude desenvolver uma boa amizade e que me proporcionaram um aprendizado inédito na minha carreira. E, ao professor Michael Hayes, por ser exemplo de determinação e prazer em desenvolver “ciência”.

À Battistella Florestal, que acreditou e investiu na minha pesquisa, que proporcionou e disponibilizou subsídios para a realização deste trabalho. Ao Diego Roters, quem tive o prazer de trabalhar durante o período de doutorado e contribuiu bastante para o desenvolvimento desta pesquisa. A todos da equipe de pesquisa da empresa pela ajuda direta e indireta na produção deste trabalho: Fernanda Silveira, Rafael Preisler, Antonio Ramos dos Santos (Grandão), Cristiano Martins (Kiko) e José Lucindo Martins (Purungo).

Aos meus colegas de LAMEF e amigos Andrea Cusatis e Mário Dobner, que me ensinaram e incentivaram a “pensar grande”. À Andrea pela magia de ver as coisas de seu jeito. Ao Mário por ser exemplo de dedicação e de profissionalismo.

À Carmen da Luz e à Angela Ikeda, com quem tive o prazer de conviver durante estes quase quatro anos. À Carmen, por ser a minha “mãezona” de todas as horas, com quem compartilhei muitas alegrias e muito carinho. À Angela, minha companheira de R.U., e com quem dividi muitos momentos filosóficos.

Aos alunos do LAMEF, que contribuíram para o meu crescimento profissional e pessoal, e direta e indiretamente na produção deste trabalho. Em especial, ao Sérgio Haliski, que não poupou esforços na coleta do material e na curadoria dos

experimentos desenvolvidos no viveiro. Agradeço também ao Henrique Moro e à Flávia Tussulini pela ajuda prestada na coleta de dados dos experimentos.

Aos meus colegas, professores e técnicos do Carbolea Research Group que me receberam como um irmão e me fizeram perceber que eu não poderia ter escolhido um lugar melhor para fazer o doutorado sanduíche. Em especial, à Natalie Taupe, Alen Horvet, ao Leo Kirby e à Marystela Lopes, que além da ajuda habitual, me proporcionaram momentos de muito alegria em suas companhias.

Aos meus amigos saudistas, que transformaram o meu doutorado sanduíche um dos anos mais interessantes da minha vida; com quem pude desenvolver uma amizade tão inesperada quanto intensa. Em especial aos “irmãos” Fahad Al-Daliemei e Nasser Almarri, parceiros indiscutíveis de festas, futebol e fins de semana.

Aos meus colegas de pós-graduação, com quem compartilhei ótimos momentos e que fizeram esta “vida” ter um gostinho mais doce: Ana Paula Fernandes, Ecleia Salles, Emanuel Araujo, Gabrielle Loureiro, Hassan David, Paulo Flores, Rafael Braz, Rafael Kuster e Rômulo Mora. Em especial à minha amiga Rafaella Curto, por ser a minha incontestável parceira, quem me tolera e aguenta por 10 anos.

À minha avó, por ser meu exemplo de vida e de alegria de viver. Ao meu pai, por me ensinar que sempre existe uma saída e que nada está perdido. À minha mãe, por ser a minha maior incentivadora e por ser exemplo de coragem. À minha irmã, com quem divido um carinho que vai além da relação irmão-irmã. Aos meus familiares por serem minha inspiração, meu exemplo, minha vida. Também agradeço à Alemoa e à Bibi, que proporcionaram o privilégio de suas presenças na minha defesa de tese.

À CAPES e ao CNPq pela concessão das bolsas de estudo que financiaram os meus estudos.

Agradeço a Deus, principalmente por me dar paciência para esperar o “tempo certo das coisas”, e inteligência suficiente para entender o quão bom é ter esta paciência.

EPIÍGRAFE

“... humildade não é subserviência. Uma pessoa subserviente é uma pessoa que se dobra por qualquer coisa. Uma pessoa humilde é aquela que sabe que não sabe tudo; aquela que sabe que não é a única pessoa que sabe; aquela que sabe que outra pessoa sabe o que ela não sabe; aquela que sabe que ela e uma outra pessoa saberão muita coisa juntas; aquela que sabe que ela e uma outra pessoa nunca saberão tudo aquilo que poderá ser sabido...” “...gente grande de verdade, sabe que é pequena, e por isso cresce. Gente muito pequena, acha que já é grande, e o único modo dela crescer é se ela diminuir a outra pessoa...”

Mário Sérgio Cortella

RESUMO

Biocarvão é um produto formado a partir da decomposição térmica da biomassa, em ambiente fechado, através de suprimento limitado de oxigênio e de temperaturas relativamente baixas ($<700^{\circ}\text{C}$). Pode contribuir diretamente na melhoria da qualidade do solo e com isso, no crescimento de espécies florestais, principalmente para uma cultura cuja prática de adubação não é comum, como *Pinus taeda*. Procurando por respostas sobre a influência do biocarvão na qualidade do solo e crescimento de *P. taeda*, foi realizada uma revisão de literatura dos principais trabalhos publicados sobre o biocarvão; bem como experimentos em campo e viveiro. Uma revisão de literatura abordando a origem do biocarvão; a sua interação com o solo, ambiente e sequestro de carbono; e a sua influência no crescimento de plantas, é apresentada no Capítulo 1. No Capítulo 2 foi avaliada a utilização do biocarvão da serragem de *Pinus* sp. como componente de substrato para a produção de mudas seminais e clonais de *P. taeda*. As mudas foram produzidas através da utilização de biocarvão (BC) e/ou substrato comercial florestal (SC) nas seguintes proporções (v:v): 0BC:100SC (BC 0); 20BC:80SC (BC 20); 40BC:60SC (BC 40); 60BC:40SC (BC 60); 80BC:20SC (BC 80) e 100BC:0SC (BC 100). No capítulo 3, a utilização de biocarvão de cavacos de *Pinus* sp. como condicionador de solo para plantios de *P. taeda* foi avaliada em dois experimentos: em viveiro e em campo. No experimento em viveiro, foi avaliada a interação entre as doses de aplicação do biocarvão (equivalentes a 3, 6 e 12 t ha^{-1}) e a granulometria deste biocarvão aplicado (4 classes: <2 ; 2-5; 5-15 e 15-25 mm), misturado com solo em vasos de 8 dm^3 . Em nível de campo, foram instalados sete tratamentos, cinco com a aplicação de doses crescentes de biocarvão (2, 4, 6, 8 e 10 t ha^{-1}) no solo e dois tratamentos testemunhas, com e sem a aplicação de NPK. Os resultados mostraram que, para a produção de mudas seminais, os tratamentos BC 60 e BC 80 apresentaram as maiores médias para a altura ($p=0,001$), diâmetro ($p=0,002$) e massa seca total (MST) ($p=0,035$) das mudas aos 300 dias após a semeadura. As mudas produzidas por clones no tratamento BC 20 apresentaram, aos 150 dias, a maior média de enraizamento ($p=0,001$), e aos 330 dias, as maiores médias altura ($p=0,001$), diâmetro ($p=0,001$) e MST ($p=0,001$). A avaliação da utilização biocarvão como condicionador de solo, mostrou que o biocarvão proporcionou uma melhoria nas propriedades químicas do solo, tanto como substrato nos vasos, quanto a sua aplicação em campo. Após 30 meses em campo, o crescimento volumétrico das árvores de *P. taeda* foi afetado positivamente ($p=0,18$) pela utilização do biocarvão como condicionador de solo. Assim, o uso do biocarvão como componente de substrato para a produção de mudas e como condicionador de solo apresenta potencial para utilização em plantios florestais. Entretanto, é necessária a elaboração de estudos complementares para que o biocarvão possa ser recomendado em escala comercial e do ponto de vista prático.

Palavras-chave: carvão pirogênico, carbono, pirólise, biochar.

USE OF BIOCHAR IN THE SEEDLING PRODUCTION AND INITIAL GROWTH OF *Pinus taeda* L.

ABSTRACT

Biochar is a product originated from thermal decomposition of biomass, in a closed container, under limited supply of oxygen and at relatively low temperatures (<700°C). It can contribute to improve the soil quality and thus to the growth of forest species, mainly when the fertilization practice is not common, such as in *Pinus taeda* plantation. Looking for the influence of biochar in soil quality and growth of *P. taeda*, a review of the mainly published papers on biochar was conducted, as well as experiments at forest nursery and field. A review of published papers approaching the biochar's origin; its interaction with soil, environment and carbon sequestration, and the influence on plant growth is presented on the Chapter 1. In the Chapter 2, it was evaluated the utilization of sawdust biochar as a substrate component for *P. taeda* seedlings production. Seedlings were produced by using biochar (BC) and/or commercial forestry substrate (SC) as substrate components in the following proportions (v:v): 0BC:100SC (BC 0); 20BC:80SC (BC 20); 40BC:60SC (BC 40); 60BC:40SC (BC 60); 80BC:20SC (BC 80) e 100BC:0SC (BC 100). In the Chapter 3, the use of *Pinus* sp. Chip biochar as soil conditioner for *P. taeda* plantations was evaluated in two experiments: in the nursery and in the field. In the experiment in nursery, it was evaluated the interaction between biochar application rates (equivalent to 3, 6 and 12 t ha⁻¹) and the particle size of the biochar applied (4 classes: <2; 2-5; 5-15 and 15-25 mm), mixed with soil in 8 dm³ pots. In the field, were installed seven treatments, with five application of increasing doses of biochar (2, 4, 6, 8 and 10 t ha⁻¹) in soil, and two control treatments, with and without the application of NPK. The results showed that, for seedlings production, the BC 60 and BC 80 treatments had the highest average for height ($p = 0,001$), diameter ($p = 0,002$) and total dry matter (MST) ($p = 0,035$) of the seedlings at 300 days after sowing. The seedlings produced by clones showed in 20 BC treatment, at 150 days, the highest rooting medium ($p = 0.001$), and 330 days, the highest average height ($p = 0,001$), diameter ($p = 0,001$) and MST ($p = 0,001$). The evaluation of the use biochar as a soil conditioner, showed that biochar provided an improvement in soil properties, both as a substrate in the pots, as its application in the field. Thus, the use of biochar as substrate component for seedlings production and as a soil conditioner has potential for use in forest plantations. However, the development of complementary studies that biochar is recommended on a commercial scale and from a practical point of view.

Keywords: pyrogenic carbon, carbon, pyrolysis.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1. FORNO DE PIRÓLISE PARA A PRODUÇÃO DE BIOCARVÃO DE SERRAGEM DE PINUS	51
FIGURA 2. DIAGRAMA DE VAN KREVELEN PARA OS SUBSTRATOS FORMULADOS COM DIFERENTES PROPORÇÕES DE BIOCARVÃO DE SERRAGEM DE PÍNUS.....	59
FIGURA 3. DIAGRAMA DE VAN KREVELEN PARA BIOCARVÕES PRODUZIDOS POR DIFERENTES MATÉRIAS-PRIMAS.....	60
FIGURA 4. FORNO DE PIRÓLISE PARA A PRODUÇÃO DE BIOCARVÃO DE CAVACOS DE PINUS	79
FIGURA 5. DIAGRAMA DE VAN KREVELEN PARA AS DOSES (A) E DIFERENTES CLASSES DIAMÉTRICAS (B) DO BIOCARVÃO APLICADO NO SOLO.....	90
FIGURA 6. CAPACIDADE MÁXIMA DE CARBONO (LINHAS TRACEJADAS) PARA CADA DOSAGEM DE BIOCARVÃO APLICADA. LINHA SÓLIDA: TRATAMENTO TESTEMUNHA (SEM BIOCARVÃO)	91
FIGURA 7. ALTURA TOTAL E DIÂMETRO DE COLO, AOS 12 MESES APÓS A APLICAÇÃO DE BIOCARVÃO AO SOLO, NO CRESCIMENTO DE <i>Pinus taeda</i>	97
FIGURA 8. ALTURA TOTAL E DIÂMETRO DE COLO, AOS 30 MESES APÓS A APLICAÇÃO DE BIOCARVÃO AO SOLO, NO CRESCIMENTO DE <i>Pinus taeda</i>	98
FIGURA 9. VOLUME INDIVIDUAL E VOLUME ESTIMADO POR HECTARE, AOS 30 MESES APÓS A APLICAÇÃO DE BIOCARVÃO AO SOLO, NO CRESCIMENTO DE <i>Pinus taeda</i>	98

LISTA DE TABELAS

TABELA 1. TIPOS DE PIRÓLISE E RENDIMENTOS DOS PRODUTOS GERADOS	24
TABELA 2. ANÁLISE ELEMENTAR DOS SUBSTRATOS FORMULADOS COM DIFERENTES PROPORÇÕES DE BIOCARVÃO DE SERRAGEM DE PÍNUS.....	56
TABELA 3. TEOR DE VOLÁTEIS, CINZAS E C FIXO DOS SUBSTRATOS FORMULADOS COM DIFERENTES PROPORÇÕES DE BIOCARVÃO DE SERRAGEM DE PINUS.....	57
TABELA 4. RELAÇÃO ATÔMICA, TEOR DE VOLÁTEIS, CINZAS E C FIXO DE BIOCARVÕES PRODUZIDOS POR DIFERENTES MATÉRIAS-PRIMAS.....	58
TABELA 5. ALTURA (A) AOS 120 (A 120), 240 (A 240) E 300 (A 300) DIAS, DIÂMETRO (D) AOS 300 DIAS (D 300), MASSA SECA DA PARTE AÉREA (MSPA), RADICULAR (MSR) E TOTAL (MST) DAS MUDAS SEMINAIS DE PINUS PRODUZIDAS NOS SUBSTRATOS FORMULADOS COM DIFERENTES PROPORÇÕES DE BIOCARVÃO.....	61
TABELA 6. ENRAIZAMENTO AOS 60, 90 E 150 DIAS DAS MUDAS CLONAIIS DE PINUS PRODUZIDAS NOS SUBSTRATOS FORMULADOS COM DIFERENTES PROPORÇÕES DE BIOCARVÃO.....	64
TABELA 7. ALTURA AOS 150 (A 150), 270 (A 270) E 330 (A 330) DIAS, DIÂMETRO AOS 300 DIAS (D 300), MASSA SECA DA PARTE AÉREA (MSPA), RADICULAR (MSR) E TOTAL (MST) DAS MUDAS CLONAIIS DE PINUS PRODUZIDAS NOS SUBSTRATOS FORMULADOS COM DIFERENTES PROPORÇÕES DE BIOCARVÃO.....	66
TABELA 8. ANÁLISES QUÍMICAS DOS SOLOS DAS FAZENDAS RIO FEIO E VALÉRIO ANTES DA IMPLANTAÇÃO DO EXPERIMENTO	82
TABELA 9. ANÁLISES FÍSICAS DOS SOLOS DAS FAZENDAS RIO FEIO E VALÉRIO ANTES DA IMPLANTAÇÃO DO EXPERIMENTO	82
TABELA 10. ANÁLISE QUÍMICA DOS SOLOS INCORPORADOS COM DE BIOCARVÃO EM DIFERENTES CLASSES GRANULOMÉTRICAS E DOSES, APÓS 12 MESES DA APLICAÇÃO DO BIOCARVÃO	84
TABELA 11. CARBONO, NITROGÊNIO E RELAÇÃO C/N NOS SOLOS INCORPORADOS COM DIFERENTES DOSES DE BIOCARVÃO APÓS 12 MESES DA APLICAÇÃO EM VIVEIRO	87
TABELA 12. RELAÇÃO H/C PARA AS DIFERENTES CLASSES GRANULOMÉTRICAS E DOSES APLICADAS APÓS 12 MESES EM VIVEIRO	88
TABELA 13. DIÂMETRO, ALTURA E MASSA SECA DA PARTE AÉREA (MSPA) DAS MUDAS DE PÍNUS NAS DIFERENTES CLASSES GRANULOMÉTRICAS E DOSES DE BIOCARVÃO APLICADO APÓS SETE MESES DE CRESCIMENTO	93
TABELA 14. ANÁLISE QUÍMICA DO SOLO INCORPORADO COM 10 T HA ⁻¹ DE BIOCARVÃO E DOS TRATAMENTOS TESTEMUNHAS APÓS 30 MESES DA IMPLANTAÇÃO DO EXPERIMENTO.....	95

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL	13
REFERÊNCIAS	17
CAPÍTULO 1 - O USO DO BIOCARVÃO EM SOLOS FLORESTAIS	20
1 ORIGEM DO BIOCARVÃO	22
2 PRODUÇÃO E CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DO BIOCARVÃO	24
3 BIOCARVÃO E A SUA INTERAÇÃO COM O SOLO	28
4 BIOCARVÃO E CRESCIMENTO VEGETAL	32
5 BIOCARVÃO E O SEU EFEITO NA EMISSÃO DE GASES DO EFEITO ESTUFA.....	36
REFERÊNCIAS	40
CAPÍTULO 2 - BIOCARVÃO DA SERRAGEM DE PINUS PARA A PRODUÇÃO DE MUDAS SEMINAIS E CLONAIIS DE <i>Pinus taeda</i> L.	46
1 INTRODUÇÃO	48
2 MATERIAL E MÉTODOS	50
2.1 LOCALIZAÇÃO E PRODUÇÃO DO BIOCARVÃO.....	50
2.2 PRODUÇÃO DE MUDAS	51
2.2.1 Produção de mudas seminais	52
2.2.2 Produção de mudas clonais	53
2.2.3 Análises químicas dos substratos.....	54
2.3 ANÁLISES ESTATÍSTICAS	54
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	56
3.1 CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DO BIOCARVÃO E SUBSTRATOS	56
3.2 AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DAS MUDAS SEMINAIS	61
3.3 AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DAS MUDAS CLONAIIS.....	64
4 CONCLUSÕES.....	68
REFERÊNCIAS	69

CAPÍTULO 3 - DIFERENTES GRANULOMETRIAS E DOSES DE BIOCARVÃO DE CAVACOS DE PINUS NO CRESCIMENTO INICIAL DE <i>Pinus taeda</i> L.	74
1 INTRODUÇÃO	76
2 MATERIAL E MÉTODOS	78
2.1 PRODUÇÃO DO BIOCARVÃO.....	78
2.2 EXPERIMENTO EM VIVEIRO	79
2.3 EXPERIMENTO EM CAMPO	81
2.4 ANÁLISES ESTATÍSTICAS	83
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	84
3.1 EXPERIMENTO EM VIVEIRO	84
3.1.1 Avaliação das propriedades químicas do solo	84
3.1.2 Avaliação do carbono no solo.....	91
3.1.3 Avaliação do crescimento.....	93
3.2 EXPERIMENTO EM CAMPO	95
3.2.1 Avaliação das propriedades químicas	95
3.2.2 Avaliação do crescimento.....	97
4 CONCLUSÕES.....	101
REFERÊNCIAS	102
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	107
APÊNDICES.....	109

INTRODUÇÃO GERAL

O uso de resíduos orgânicos carbonizados vem sendo resgatado e avaliado como alternativa para melhorar a fertilidade do solo. Através da decomposição térmica do material orgânico em condições limitadas de suprimento de oxigênio, e em relativamente baixas temperaturas, o material produzido, conhecido como biocarvão, contribui para a manutenção da qualidade do solo (LEHMANN; JOSEPH, 2009). O processo formação do biocarvão promove um rearranjo dos átomos de carbono, aumentando a porosidade do material, isto proporciona melhoria nas propriedades químicas, principalmente pela alta superfície específica resultando em aumento da capacidade de troca de cátions e adsorção de nutrientes (ATKINSON *et al.*, 2010).

O biocarvão está normalmente relacionado aos solos de origem antropogênica, devido ao processo de formação ser semelhante, por meio da decomposição térmica do material vegetal. No entanto, solos antropogênicos são formados através de milhares de anos, e por isso, existe uma reposição contínua da matéria orgânica no solo. Geralmente, pesquisadores fazem a conexão do biocarvão com a “Terra Preta de Índio”, que é um solo altamente fértil, devido principalmente à alta capacidade de troca de cátions, aos altos teores de matéria orgânica e nutrientes como nitrogênio, fósforo, cálcio e potássio. A “Terra Preta de Índio” ocorre em pequenas porções na Região Amazônica e foi formada através da decomposição de restos de plantas e animais, em locais onde índios nômades habitavam (GLASER *et al.*, 2001; NOVOTNY *et al.*, 2009).

Quando aplicado no solo, o biocarvão pode proporcionar aumento do pH, CTC e carbono orgânico (LIANG *et al.*, 2006; CHAN *et al.*, 2007; RONDON *et al.*, 2007); aumento na fixação biológica de nitrogênio e na disponibilidade de boro, molibdênio, cálcio, potássio e fósforo (RONDON *et al.*, 2007; KOOKANA *et al.*, 2011); aumento na adsorção de herbicidas na superfície do biocarvão, diminuindo as perdas por lixiviação (SPOKAS *et al.*, 2009); alteração na abundância e funcionamento de fungos micorrízicos, principalmente pela alteração das propriedades físicas e químicas (WARNOCK *et al.*, 2007); provimento de refúgio para a microbiota nos microporos do biocarvão (WARNOCK *et al.*, 2007; THIES e RILLIG, 2009); aumento na disponibilidade de nutrientes pela alteração da biota do

solo (LEHMANN *et al.*, 2011); e melhoria na estrutura do solo e disponibilidade de água (DOWNIE *et al.*, 2009).

Apesar de ser uma prática comum em plantios florestais, a adubação em povoamentos de *Pinus* não é normalmente realizada, principalmente por se acreditar que o *Pinus* não seja capaz de responder às fertilizações minerais. Vale ressaltar que o melhoramento genético do gênero tem proporcionado ganhos efetivos e que a adubação realizada no passado, em material genético pouco desenvolvido, pode ter mascarado o efeito das adubações nos plantios de *Pinus*. No entanto, com a diminuição dos ciclos de corte, das sucessivas rotações e da ausência de adubações periódicas, a produtividade de plantios de *Pinus* pode estar comprometida. Sabendo da importância do gênero *Pinus* no contexto florestal brasileiro, cujas plantações do gênero ultrapassam 1,5 milhões de hectares (ABRAF, 2013), torna-se necessário o desenvolvimento de pesquisa relacionada à manutenção da fertilidade do solo visando o aumento da produtividade dos povoamentos de *Pinus*.

As pesquisas têm comprovado a eficiência da adubação mineral para o crescimento de povoamento de *Pinus taeda*, no entanto, muitas vezes os resultados encontrados são divergentes, principalmente devido às diferentes condições experimentais utilizadas. Também deve ser destacado o fato de que as empresas florestais não divulgam seus resultados de experimentos que avaliam as respostas do crescimento de *P. taeda* à adubação mineral, o que causa dificuldades em se chegar a conclusões mais sólidas sobre o assunto.

De acordo com Rigatto *et al.* (2005), os solos de textura mais argilosa, independentemente da classe a que pertenciam, propiciaram maiores produtividades de *P. taeda*. Os autores ainda comentam que a produtividade da espécie não é afetada apenas pelos atributos químicos, mas que os atributos físicos do solo também apresentam grande influência no crescimento de *P. taeda*.

Tiarks e Haywood (1985) avaliaram o efeito da adubação e mato-competição no crescimento de *P. taeda* na Louisiana, EUA. Os autores observaram que o crescimento da espécie, aos cinco anos de idade, foi mais afetado pela mato-competição do que pela aplicação de NPK (13-13-13). No quinto ano de crescimento, o volume de povoamento foi igual a 11,8 m³ ha⁻¹ no tratamento testemunha, com a adubação o povoamento atingiu 16,2 m³ ha⁻¹ e com o controle da mato-competição foi igual a 19,2 m³ ha⁻¹. Os autores ainda completam que, baseado

na concentração de fósforo das acículas, este nutriente pode ser determinante para o crescimento de *P. taeda*.

Para avaliar a influência do sítio no crescimento de *Pinus taeda*, Dedecek *et al.* (2008) selecionaram oito diferentes sítios com o plantio da espécie aos 22 anos de idade, no município de Telêmaco Borba (PR). Os autores concluíram que os sítios mais produtivos apresentaram maiores teores de K e P, pH mais elevado, maior saturação por bases e menor saturação por Al. Ainda afirmaram que o teor de água disponível no solo, foi a variável que melhor se correlacionou com o crescimento da espécie.

As dificuldades de se encontrar conclusões sólidas sobre a influência da adubação mineral no crescimento de *P. taeda*, associada ao fato de que estes adubos não são renováveis e estão cada vez menos disponíveis, incentiva a busca por alternativas que possam contribuir para a sustentabilidade da produtividade florestal da espécie, principalmente se tratando de plantios em sítios de baixa fertilidade. A utilização de biocarvão em sítios cujas características físicas e químicas do solo não favorecem o crescimento de *P. taeda* pode ser uma alternativa viável para plantios da espécie. Apesar de ser ainda pouco expressiva, a utilização de biocarvão em solos florestais tem sido estudada e considerada positiva para o aumento da produtividade florestal, e a sua utilização pode se tornar uma alternativa viável para plantios de pinus.

Omil *et al.* (2013), avaliaram a aplicação de 4,5 t ha⁻¹ de uma mistura de biocarvão e cinzas, proveniente de uma usina termelétrica, em um povoamento de *Pinus radiata*, com idade de 13 anos no início de plantio, em dois tipos de solo. Os autores observaram respostas no crescimento em altura, diâmetro e volume, principalmente após dois anos de aplicação da mistura. Os autores concluíram que o crescimento foi mais evidente no sítio de qualidade mais baixa, e sugerem que o biocarvão pode ser uma alternativa para uma silvicultura intensiva em sítios poucos produtivos em diferentes estágios de estabelecimento do povoamento, com aplicação antes do fechamento das copas ou logo após o desbaste.

De forma semelhante Santalla *et al.* (2011), realizaram a aplicação de biocarvão e cinzas, em um povoamento de *Pinus radiata* já estabelecido, com 25 anos de idade. Os autores observaram que a aplicação da mistura, após quatro anos da aplicação, proporcionou maiores incrementos de altura e diâmetro que o tratamento controle. No entanto, os autores encontraram que o tratamento

combinado com Ca (493 kg de Ca ha⁻¹) e P (65 kg P ha⁻¹) apresentou as maiores médias de altura e diâmetro, passados quatro anos após a aplicação, sendo estatisticamente superior ao tratamento controle, mas não ao tratamento com biocarvão e cinzas.

Também em solos florestais, Solla-Gullon *et al.* (2006) avaliaram a aplicação do biocarvão, produzido a partir resíduos da indústria de papel e celulose, no crescimento de um povoamento de *Pseudotsuga menziesii*, aos cinco anos de idade. Os autores observaram que o crescimento em altura aumentou de 5,4 e 18%, após o quarto ano da aplicação de 10 e 20 t ha⁻¹ de biocarvão, respectivamente, quando comparado ao tratamento sem a adição de biocarvão.

Os tipos de biocarvão e as interações entre biocarvão e solo dependem de alguns fatores, como a composição química da matéria prima que produz o biocarvão; as condições do processo de pirólise; granulometria e sistema de aplicação do biocarvão; e as condições edafoclimáticas do local de aplicação (JOSEPH *et al.*, 2010). Ainda são limitadas as informações sobre os efeitos do tamanho das partículas e da quantidade de biocarvão que deve ser aplicado para melhores respostas na interação com os processos do solo.

Também se destaca que, além da aplicação do biocarvão em solos, as propriedades do biocarvão também permitem sua utilização como substrato na produção de mudas em recipientes com baixa capacidade volumétrica, podendo se tornar um componente importante para a formulação de substratos para a produção de mudas florestais.

Tentando buscar respostas sobre a influência do biocarvão na qualidade do solo e crescimento de *Pinus taeda*, o objetivo deste trabalho foi avaliar os efeitos da quantidade e do tamanho das partículas de biocarvão aplicado no solo no crescimento da espécie; bem como a utilização de biocarvão como componente de substrato para a produção de mudas seminais e clonais da espécie.

REFERÊNCIAS

- ABRAF. Anuário estatístico ABRAF 2013 ano base 2012 / ABRAF. – Brasília: 2013.148 p.
- ATKINSON, C. J.; FITZGERALD, J. D.; HIPPS, N. A. Potential mechanisms for achieving agricultural benefits from biochar application to temperate soils: a review. **Plant Soil**, v. 337, p. 1–18, 2010.
- CHAN, K. Y.; VAN ZWIETEN, L.; MESZAROS, I. DOWNIE, A.; JOSEPH, S. Agronomic values of greenwaste biochar as a soil amendment. **Australian Journal of Soil Research**. v. 45, p. 629-634, 2007.
- DEDECEK, R. A.; FIER, I. S. N.; SPELTZ, R.; SOUZA, L. C. P. Influência do sítio no desenvolvimento do *Pinus taeda* aos 22 anos: 1. Características físico-hídricas e químicas do solo. **Floresta**, v. 38, p. 507-516, 2008.
- DOWNIE, A.; CROSKY, A.; MUNROE, P. Physical Properties of Biochar. In: LEHMANN, J.; JOSEPH, S. **Biochar for environmental management: Science and Technology**. London: Earthscan, 2009. p. 13-32.
- GLASER, B.; HAUMEIER, L.; GUGGENBERGER, G.; ZECH, W. The “Terra Preta” Phenomenon: A model for sustainable agriculture in the humid tropics’, **Naturwissenschaften**, vol 88, p. 37–41, 2001.
- JOSEPH, S.; CAMPS-ARBESTAIN, M.; LIN, Y.; MUNROE, P.; CHIA, C. H.; HOOK, J.; VAN ZWIETEN, L.; KIMBER, S.; COWIE, A.; SINGH, B. P.; LEHMANN, J.; FOIDL, N.; SMERNIK, R. J.; AMONETTE, J. E. An investigation into the reactions of biochar in soil. **Australian Journal of Soil Research**, v. 48, p. 501–515, 2010.
- KOOKANA, R. S.; SARMAH, A. K.; VAN ZWIETEN, L.; KRULL, E.; SINGH, B. Biochar application to soil: agronomic and environment benefits and unintended consequences. **Advances in Agronomy**, n. 112, p. 103-143, 2011.
- LEHMANN, J.; JOSEPH, S. Biochar for Environmental Management: An Introduction. In: LEHMANN, J.; JOSEPH, S (Eds.). **Biochar for environmental management: Science and Technology**. London: Earthscan, 2009. p. 1-12.
- LEHMANN, J., RILLIG, M. C.; THIES, J.; MASIELLO, C. A.; HOCKADAY, W. C.; CROWLEY, D. Biochar effects on soil biota – A review. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 43, p. 1812-1836, 2011.

LIANG, B.; LEHMANN, J.; SOLOMON, D.; KINYANGI, J.; GROSSMAN, J.; O'NEILL, B.; SKJEMSTAD, J. O.; THIES, J.; LUIZÃO, F. J.; PETERSEN, J.; NEVES, E. G. Black carbon increases cation exchange capacity in soils. **Soil Science Society of American Journal**, v. 70, p. 1719-1730, 2006.

NOVOTNY, E.; HAYES, M. H. B.; MADARI, B. E.; BONAGAMBA, T. J.; AZEVEDO, E. R. de; SOUZA, A. A. de; SONG, G.; NOGUEIRA, C. M.; MANGRICH, A. S. Lessons from the Terra Preta de Índios of the Amazon Region for the utilization of charcoal for soil amendment. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, v. 20, n. 6, p. 1003-1010, 2009.

OMIL, B.; PIÑEIRO, V.; MERINO, A. Soil and tree responses to the application of wood ash containing charcoal in two soils with contrasting properties. **Forest Ecology and Management**, v. 295, p.199–212, 2013.

RIGATTO, P. A.; DEDECEK, R. A.; MATTOS, J. L. M. Influência dos atributos do solo sobre a produtividade do *Pinus taeda*. **Revista Árvore**, v.29, n.5, p. 701-709, 2005.

RONDON, M. A.; LEHMANN, J.; RAMÍREZ, J.; HURTADO, M. Biological nitrogen fixation by common beans (*Phaseolus vulgaris* L.) increases with bio-char additions. **Biology Fertility Soils**, v. 43, p. 699-708, 2007.

SANTALLA, M.; OMIL, B.; RODRÍGUEZ-SOALLEIRO, R.; MERINO, A. Effectiveness of wood ash containing charcoal as a fertilizer for a forest plantation in a temperate region. **Plant Soil**, v. 346, p.63–78, 2011.

SOLLA-GULLON, F.; SANTALLA, M.; RODRIGUEZ-SOALLEIRO, R.; MERINO, A. Nutritional status and growth of a young *Pseudotsuga menziesii* plantation in a temperate region after application of wood-bark ash. **Forest Ecology and Management**, v. 237, p. 312–321, 2006.

SPOKAS, K. A.; KOSKINEN, W. C.; BAKER, J. M.; REICOSKY, D. C. Impacts of woodchip biochar additions on greenhouse gas production and sorption/degradation of two herbicides in a Minnesota soil. **Chemosphere**, v. 77, p. 574–58, 2009.

THIES, J. E.; RILLIG, M. C. Characteristics of Biochar: biological Properties. In: LEHMANN, J.; JOSEPH, S. **Biochar for environmental management: Science and Technology**. London: Earthscan. 2009. p. 85-106.

TIARKS, A. E.; HAYWOOD, J. D. *Pinus taeda* L. response to fertilization, herbaceous plant control, and woody plant control. **Forest Ecology and Management**, v. 14, p. 103-112, 1985.

WARNOCK, D. D.; LEHMANN, J.; KUYPER, T. W.; RILLIG, M. C. Mycorrhizal responses to biochar in soil – concepts and mechanisms. **Plant Soil**, v. 300, p. 9–20, 2007.

O USO DO BIOCARVÃO EM SOLOS FLORESTAIS

RESUMO

O uso de resíduos vegetais carbonizados vem sendo resgatado e avaliado como alternativa para melhorar a fertilidade do solo. O material gerado, denominado biocarvão, é o produto formado a partir da pirólise, que é a decomposição térmica da biomassa em ambiente fechado, com o suprimento limitado de oxigênio e em temperaturas relativamente baixas. A composição química e estrutural do biocarvão é altamente heterogênea, com exceção do pH, que normalmente é maior que 7. Algumas propriedades estão mais presentes em todos os biocarvões, incluindo alto teor de carbono e grau de aromaticidade, o que explica seu alto nível de recalcitrância. Contudo, a exata composição química e estrutural é dependente da combinação da matéria prima e das condições de pirólise. Quando aplicado no solo, o biocarvão pode proporcionar aumento do pH, capacidade de troca de cátions e carbono orgânico, aumento disponibilidade de nutrientes, alteração na abundância e funcionamento de fungos micorrízicos, provimento de refúgio para micro-organismos nos microporos do biocarvão e melhoria na estrutura do solo e disponibilidade de água. Todas estas características de interação com o solo fazem com que a sua utilização no meio agrícola apresente normalmente efeitos positivos para o crescimento vegetal. Acredita-se também que a utilização de biocarvão possa contribuir para o sequestro de carbono, sendo considerado por muitos como “carbono negativo”, devido a sua capacidade de promover o crescimento vegetal e pela sua estabilidade no solo. O biocarvão entrou em discussão no quinto relatório do IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change* – Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas), como uma nova tecnologia que poderia contribuir no potencial de mitigação de gases do efeito estufa. Estudos com o biocarvão já atingiram proporções de escala mundial envolvendo diversas áreas, e têm crescido muito nos últimos anos. No entanto, ainda existem muitas incertezas sobre a sua utilização na agricultura, devido principalmente ao fato de que os trabalhos publicados têm dado mais atenção a sua capacidade de manutenção e melhoria da fertilidade do solo e aumento da produtividade agrícola do que esclarecimentos dos riscos envolvidos na utilização do biocarvão.

Palavras-chave: biochar, crescimento vegetal, carbono pirogênico, fertilidade do solo.

BIOCHAR USE IN FOREST SOILS

ABSTRACT

The use of carbonized plant biomass has been recovered and evaluated as an alternative of improving soil fertility. The material generated, called biochar, is the product formed by pyrolysis, which is the thermal decomposition of biomass in a closed container under limited supply of oxygen and at relatively low temperatures. The chemical and structural composition of biochar is highly heterogeneous, with the exception of pH, which is usually higher than 7. Some properties are more present in all kinds of biochar, including high carbon content and degree of aromaticity, which explains its high level of recalcitrance. However, its exact chemical composition and structure depends on the combination of raw material and pyrolysis conditions. When applied to soil, biochar can increase pH, cation exchange capacity and organic carbon and nutrient availability, raises in the abundance and functioning of mycorrhizal fungi, providing refuge for micro-organisms in the biochar micropores and improving soil structure and water availability. All these features in the soil interaction make its use in the agriculture normally to have positive effects on plant growth. It is also believed that the use of biochar can contribute to carbon sequestration, is considered by many as "carbon negative" due to its ability to promote plant growth and its stability in the soil. Biochar went into the spotlight in the fifth IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) report as a new technology that could contribute to the potential mitigation of greenhouse gases. Studies with biochar have reached worldwide proportions involving different areas, and have grown a lot in recent years. However, there are still many uncertainties about its use in agriculture, mainly due to the fact that the published papers have given more focus to biochar ability to maintain and improve soil fertility and increase agricultural productivity than to clarifying risks involved in biochar utilization.

Keywords: plant growth, pyrogenic carbon, soil fertility.

1 ORIGEM DO BIOCARVÃO

Há indícios que há cerca de 30 mil anos o homem já havia produzido carvão a partir da queima de biomassa em um amontoado de solo (ANTAL JR.; GRONLI, 2003). Os primeiros fornos de carvão vegetal consistiram de buracos ou elevações temporárias, que apresentavam simplicidade e baixo custo. Embora estes fornos ainda são amplamente empregados nos países em desenvolvimento, vários tipos de fornos de tijolos, metal e concreto foram introduzidas para melhorar o rendimento da fabricação de carvão. Hoje se tem uma gama de tipos de fornos para a produção de carvão vegetal, desde os mais simples, como em cova, montículo ou tijolos, até mais modernos, como aço portátil e concreto (BROWN *et al.*, 2009).

O uso de resíduos vegetais carbonizados vem sendo resgatado e avaliado como alternativa para melhorar a fertilidade do solo. O produto gerado, conhecido como biocarvão (*biochar*), contribui para a manutenção e aumento da fertilidade do solo.

O biocarvão está normalmente relacionado aos solos de origem antropogênica, devido ao processo de formação ser semelhante, por meio da decomposição térmica do material vegetal. No entanto, solos antropogênicos são formados através de milhares de anos, e por isso, existe uma reposição contínua da matéria orgânica no solo. Geralmente, pesquisadores fazem a conexão do biocarvão com a “Terra Preta de Índio”, um solo altamente fértil, devido principalmente à alta capacidade de troca de cátions (CTC), aos altos teores de matéria orgânica e nutrientes como nitrogênio, fósforo, cálcio e potássio (NOVOTNY *et al.*, 2009). A “Terra Preta de Índio” ocorre em pequenas áreas na Região Amazônica e foi formada através da decomposição de resíduos de plantas e animais, em locais onde índios pré-colombianos habitavam. Nos solos de “Terra Preta de Índio”, as grandes quantidades de carbono pirogênico indicam que uma alta e prolongada entrada de matéria orgânica carbonizada. Os materiais carbonizados, provenientes da incompleta combustão de materiais orgânicos são responsáveis por manter os altos níveis da matéria orgânica do solo e a disponibilidade de nutrientes da “Terra Preta de Índio” (GLASER *et al.*, 2001; GLASER *et al.*, 2002).

A “Terra Preta de Índio” é a última efetivação da ocupação intensiva de comunidades indígenas ameríndias pré-colombianos na região. São solos que

contém artefatos, como peças de cerâmica, ferramentas de pedra e carvão, e são de coloração preta ou marrom bem escuro, com mais de 50 cm de profundidade, com altos níveis de nutrientes disponíveis para as plantas, como fósforo (maior que 100 mg kg⁻¹) e menos ácidos que os solos adjacentes. Atualmente são procurados por agricultores locais, praticantes de agricultura de subsistência, que os reconhece facilmente mesmo quando estão presentes no interior de florestas. A “Terra Preta de Índio” ocorre normalmente em pequenos fragmentos, de 2 a 20 ha, mas sítios de 300 a 500 ha já foram reportados, especialmente em área de terra-firme nas proximidades dos principais rios amazônicos (SOMBROEK *et al.*, 2002).

O biocarvão é o produto formado a partir da decomposição térmica da biomassa, em ambiente fechado, através de suprimento limitado de oxigênio e de temperaturas relativamente baixas (<700°C) (LEHMANN; JOSEPH, 2009). Biocarvão é o material carbonáceo produzido especificamente para ser aplicado no solo como parte de manejo ambiental ou agrônômico (BROWN *et al.*, 2009). E de acordo com Sohi *et al.* (2010), o biocarvão apenas deve ser utilizado quando existir potencial para: melhorar a qualidade do solo, a produtividade agrícola e contribuir para a mitigação da emissão de gases do efeito estufa a longo prazo; uma possível supressão da liberação de metano e óxido nitroso aumentaria o valor do biocarvão como um meio para compensar as emissões de gases de efeito estufa.

2 PRODUÇÃO E CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DO BIOCARVÃO

O biocarvão é um produto obtido por muitos processos e suas qualidades são dependentes de cada processo e do material em que o processo é aplicado (SOHI *et al.*, 2010). Este processo trata-se da pirólise, que é a decomposição química de materiais orgânicos pelo aquecimento na ausência de oxigênio, gerando três produtos: um líquido que é comumente chamado de bio-óleo; um material sólido, que pode ser usado como insumo no solo (biocarvão), ou então usado para geração de energia (carvão); e um produto gasoso não condensável, contendo monóxido de carbono, dióxido de carbono, hidrogênio, metano e outros hidrocarbonetos (MCCARL *et al.*, 2009).

Na produção de biocarvão, existem três principais processos de degradação térmica, que são governados principalmente pela temperatura de pirólise, pelo tempo que o material permanece no forno e pela velocidade da taxa de aquecimento (rampa de aquecimento). Pirólise lenta é a conversão térmica da biomassa por aquecimento em baixas e médias temperaturas, na ausência de oxigênio. Pirólise rápida é o aquecimento muito rápido da biomassa resultando numa maior proporção de bio-óleo e menor de biocarvão. E a gaseificação é a pirólise em altas temperaturas e tem o biocarvão como sub-produto (BROWN, 2009; BROWNSORT, 2009; MCCARL *et al.*, 2009).

O rendimento da produção de biocarvão e os produtos gerados no fim do processo são altamente dependentes do tipo de pirólise utilizada (TABELA 1).

TABELA 1. TIPOS DE PIRÓLISE E RENDIMENTOS DOS PRODUTOS GERADOS

TIPO DE PIRÓLISE	CONDIÇÕES		RENDIMENTO (%)		
	TEMPERATURA (C°)	PERMANÊNCIA	BIOCARVÃO	BIO-ÓLEO	GASES
Lenta	500 (250-750)	5-30 min (min - dias)	35 (2 - 60)	30 (0 - 60)	35 (0 - 60)
Intermediária	500 (320 - 500)	10-20 seg (min)	20 (19 - 73)	50 (18 - 60)	30 (9 - 32)
Rápida	500 (400 - 750)	1 seg (1 - 5 seg)	12 (0 - 50)	75 (10 - 80)	13 (10-30)
Gaseificação	>750	10-20 seg	10	5	85

As informações entre parênteses referem-se ao alcance das observações dos processos mencionados.

FONTE: Brown (2009); Brownsort (2009)

A composição química e estrutural do biocarvão é altamente heterogênea, com exceção do pH, que normalmente é maior que 7. Algumas propriedades estão mais presentes em todos os biocarvões, incluindo alto teor de C e grau de aromaticidade, o que explica seu alto nível de recalcitrância. Contudo, a exata composição química e estrutural é dependente da combinação da matéria prima e das condições de pirólise. As características químicas e físicas do biocarvão podem alterar significativamente as propriedades físicas e processos do solo e são, portanto, importantes para consideração antes da aplicação no solo (VERHEIJEN *et al.*, 2009).

Uma característica que é comum ao biocarvão é que ele compreende principalmente as formas aromáticas estáveis do carbono orgânico, e comparado ao carbono da matéria-prima que o originou, não pode ser prontamente retornado à atmosfera como gás carbônico, até mesmo em condições ambientais e biológicas favoráveis, tal como aquelas que prevalecem no solo. A temperatura de pirólise é o mais importante parâmetro a se considerar no processo de produção do biocarvão. O teor de C fixo do biocarvão está diretamente relacionado ao aumento da temperatura final de pirólise. O mesmo acontece com o teor de cinzas, ou seja, para uma mesma matéria prima, quanto maior a temperatura de pirólise maior é o teor de cinzas produzido. Enquanto que o rendimento da produção de biocarvão é inversamente proporcional à temperatura de pirólise (SOHI *et al.*, 2010).

Pelo fato de biocarvões apresentarem uma variedade de componentes orgânicos e inorgânicos, eles podem ser usados para melhorar a qualidade do solo. No entanto, suas propriedades físico-químicas são determinantes para o sucesso de sua utilização no solo. A variação das propriedades físico-químicas é dependente principalmente da composição elementar da matéria prima, do processo de produção e do tamanho das partículas (NOVAK *et al.*, 2014).

As principais características para avaliação do biocarvão utilizadas por pesquisadores são: pH, conteúdo de materiais voláteis, teor de cinzas, capacidade de retenção de água, densidade aparente, volume de poros e superfície específica. As relações atômicas de O/C, O/H e C/H também são avaliadas por fornecer uma medida confiável da extensão da pirólise e da alteração do nível oxidativo do biocarvão no solo, e são relativamente de simples determinação (SOHI *et al.*, 2009).

Lee *et al.* (2010) avaliaram a utilização de biocarvão de palha de milho produzido em dois processos de pirólise como potencial condicionador de solos. Os

autores encontraram que a capacidade de troca de cátions foi duas vezes maior para biocarvão produzido em pirólise rápida a 450°C que o biocarvão produzido por gaseificação a 700°C. Também trabalhando com pirólise rápida, Kim *et al.* (2012) avaliaram biocarvões produzidos de *Pinus rigida* em três diferentes temperaturas: 300, 400 e 500°C. O rendimento caiu drasticamente de 60,7 a 14,4% quando as temperaturas foram de 300 para 500°C. Os autores ainda afirmaram que os biocarvões produzidos em 400 e 500°C apresentaram carbonos remanescentes rearranjados em forma estável e com estrutura aromática ordenada.

Cantrell *et al.* (2012) avaliaram as características físico-químicas de biocarvões produzidos a 350 e 700°C a partir de cinco resíduos orgânicos: esterco de bovino (dois tipos), suíno, frango e peru. Os autores observaram que as análises de infra-vermelho demonstraram similaridades entre os esterco de peru e frango e entre os dois esterco de bovino, mas foram distintas nos biocarvões de esterco de suíno. Os biocarvões de esterco de bovino continham as maiores quantidades de voláteis, C e conteúdo de energia, e os menores teores de cinzas, N e S. Já o biocarvões de esterco de suíno apresentam os teores mais altos de P, N e S e os menos valores de pH e condutividade elétrica. Os biocarvões provenientes de esterco de frango foram os que apresentaram os mais altos valores de condutividade elétrica.

Do mesmo modo, avaliando diferentes resíduos orgânicos, Enders *et al.* (2012) trabalharam em experimento avaliando 94 tipos de biocarvão, provenientes de vários tipos biomassa, como esterco de animais, águas residuais, lixo de esgoto, biomassa lenhosa, de indústria de papel e a mistura de alguns destes, produzidos em temperaturas de pirólise de 300 a 600°C, em intervalos de 50°C, e rampa de aquecimento de 10°C por minuto e pirólise por 15-20 minutos. Os autores encontraram teor de cinzas entre 0,4% e 88,2%; voláteis entre 13,2 e 70%; e carbono fixo entre 0 a 77,4%. Ainda observaram que os biocarvões provenientes de materiais lenhosos apresentaram a mais alta variação dos valores de pH, de 4 a 9.

Também trabalhando com material lenhoso, Ghani *et al.* (2013) encontraram em biocarvões produzidos a partir da serragem da madeira de seringueira (*Hevea brasiliensis*) teores de carbono fixo entre 82 e 95%, que aumentaram com o aumento da temperatura de pirólise (de 450 a 850°C). Os autores notaram também que os biocarvões produzidos a temperaturas maiores que 650°C apresentaram alta aromaticidade e tornaram-se hidrofóbicos. Os autores ainda observaram que as

superfícies específicas variaram de 10 a 200 m² g⁻¹, sendo a menor observada no biocarvão de mais baixa temperatura de pirólise (450°C).

Tsai *et al.* (2012) observaram potencial em biocarvões produzidos de 400 a 800°C a partir de esterco de suínos para melhoria em solos, principalmente pela presença de N, P, Ca, Mg e K. Os autores ainda observaram que o teor de cinzas, pH e a porosidade de todos os biocarvões aumentaram com o aumento da temperatura, enquanto que o rendimento e os teores de N e O foram reduzidos com o aumento da temperatura devido à volatilização durante a pirólise.

3 BIOCARVÃO E A SUA INTERAÇÃO COM O SOLO

As interações entre matéria orgânica e a superfície coloidal das argilas são dependentes da distribuição dos grupos funcionais, da matéria orgânica, da polaridade dos componentes, da composição e concentração dos cátions e ânions na solução do solo. Reações complexas similares estão propensas a ter lugar nas superfícies dos biocarvões, principalmente se estes biocarvões apresentam alto conteúdo mineral (JOSEPH *et al.*, 2010).

O biocarvão é bastante estável no solo e tem potencial para promover uma modificação na capacidade de retenção de água direta e a longo prazo, por meio de sua natureza frequentemente porosa, reflexo das estruturas celulares da matéria prima que é normalmente produzido. Também apresenta cinzas, que são fontes de P, K e outros elementos, que podem ser mais solúveis e acessíveis nos biocarvões que na matéria prima não-pirosilada. O efeito do biocarvão na disponibilidade destes elementos pode explicar alguns impactos na produção de algumas culturas a curto prazo, especialmente pelo fato de que, alguns elementos não podem ser disponibilizados simplesmente pelo aumento da quantidade de matéria orgânica no solo (SOHI *et al.*, 2010).

Em solos adubados com uma mistura de cinzas e carvão, proveniente de um usina termoelétrica, Omil *et al.* (2013) observaram que não foi necessária a aplicação suplementar de P com aplicações anuais da mistura, durante três anos, em doses de $4,5 \text{ t ha}^{-1}$, no crescimento de um povoamento de *Pinus radiata*, com 13 anos de idade. Os autores ainda ressaltaram que os tratamentos com a mistura, proporcionaram menores perdas de nutrientes por lixiviação e aumento no teor de matéria orgânica do solo, mesmo em solo arenoso. Petter *et al.* (2012) afirmaram que a aplicação de biocarvão de eucalipto em aplicações de 8, 16 e 32 t ha^{-1} em campo, afetou positivamente a fertilidade do solo, aumentando principalmente a disponibilidade de Ca, P, e aumentando o pH e o carbono orgânico total dos solos. Estudando a influência do biocarvão em duas doses, 8 ou 20 t ha^{-1} , aplicadas uma única vez, na qualidade do solo adubado, Major *et al.* (2010) observaram, após quatro anos da aplicação em savana colombiana, que o biocarvão, produzido a partir de resíduos de madeira, aumentou principalmente a disponibilidade de Ca e Mg e o pH, e diminuiu a acidez trocável.

Zhao *et al.*, 2014, concluíram que a aplicação de biocarvão de palha de arroz, em experimento em casa de vegetação, apresentou um efeito positivo na produtividade de arroz e trigo, seguido de efeito positivo na absorção de N, P, K, Ca e Mg pelas plantas, devido principalmente a disponibilidade de P, K, Ca e Mg dos solos incorporados com biocarvão. Já Albuquerque *et al.* (2013), trabalhando com biocarvões de palha de trigo e dos resíduos da poda de oliveiras, afirmaram que os biocarvões atuaram como fonte de P em solos após dois meses de incubação em casa de vegetação. Em contrapartida, a adição de qualquer um dos dois tipos de biocarvão resultou em perdas na disponibilidade de N e Mn.

Mukherjee *et al.* (2014), avaliando a utilização de biocarvão, águas residuais e ácido húmico, adicionados em solo argilo-siltoso em experimento em casa de vegetação, observaram que, após quatro meses de incubação, o biocarvão aumentou em 7% o C do solo, aumentou a superfície específica em 15% e reduziu a densidade do solo em 13%, quando comparado ao tratamento controle.

Novak *et al.* (2009) avaliaram a influência da adição de biocarvão de casca do fruto de noqueira-pecã para a fertilidade do solo. Após 67 dias de incubação em casa de vegetação, o biocarvão aumentou o pH do solo, o carbono orgânico total e alguns nutrientes, e diminuiu a acidez trocável, S e Zn. Os autores concluíram que este biocarvão apresentou alta capacidade de sorção de nutrientes, principalmente Ca, P, Zn e Mn.

Em trabalho realizado com 17 biocarvões provenientes de diferentes matérias primas e diferentes métodos de produção, Brewer *et al.* (2011) encontraram que no geral, os biocarvões aumentaram o pH dos solos, após oito semanas de avaliação. Os biocarvões produzidos por gaseificação de resíduos de gramíneas proporcionaram as mais altas condutividades elétricas, que é um indicador do conteúdo de íons disponíveis no solo. Uzoma *et al.* (2011) trabalhando com biocarvões produzidos em laboratório, nas temperaturas de 300, 400 e 500°C, a partir de cavacos de madeira de *Robinia pseudoacacia* L., observaram que a aplicação de 20 t ha⁻¹ do biocarvão produzido a 500°C foi o mais expressivo para aumento da fertilidade do solo. A aplicação deste biocarvão aumentou a disponibilidade de água em 97% e o conteúdo de água em 56% e reduziu a condutividade hidráulica, quando comparado ao tratamento testemunha sem a utilização de biocarvão. Ainda foi observado que após a aplicação de nitrato, o tratamento controle adsorveu 1% do N, enquanto que a mais alta retenção, 37% de

N, foi obtida com a aplicação de 20 t ha⁻¹ do biocarvão produzido a 300°C. Para P, a maior retenção obtida pelos autores foi proporcionada quando aplicaram 20 t ha⁻¹ do biocarvão produzido a 500°C.

Van Zwieten *et al.* (2010) observaram aumento de pH, capacidade de troca de cátions, K, Ca e carbono total após a aplicação de 10 t ha⁻¹ de biocarvão fabricado por resíduos da indústria de celulose, em experimento em casa de vegetação. Ainda notaram redução da acidez trocável e aumento na absorção de N por plantas de trigo após aplicação do biocarvão.

Avaliando a capacidade potencial do biocarvão em melhorar a retenção de água em experimento em casa de vegetação, Devereux *et al.* (2012) constataram que o tamanho médio dos poros diminuiu de 0,07 mm², no tratamento sem biocarvão, para 0,046 mm², no tratamento com 5% de biocarvão no solo. Também foi observado que o aumento da concentração de biocarvão no solo diminuiu a condutividade hidráulica, densidade do solo e a repelência de água no solo. Os autores concluíram que o biocarvão pode aumentar a retenção de água em solo propensos a períodos de seca. Já Liang *et al.* (2014) observaram que a aplicação de 90 t ha⁻¹ de biocarvão proporcionou aumento no pH do solo e capacidade de retenção de água, e redução na densidade do solo, depois de três anos da data de aplicação do biocarvão. Os autores também observaram que apesar da redução da disponibilidade de N, a aplicação do biocarvão aumentou a disponibilidade de K.

Em trabalho de revisão de literatura, Warnock *et al.* (2007) demonstraram que a adição de diferentes tipos de biocarvão pode alterar a disponibilidade de nutrientes por modificar as propriedades físico-químicas do solo. Não menos importante, os autores afirmam que o biocarvão apresenta efeito positivo para aumento da incidência de fungos micorrízicos (apenas pouco estudos apresentaram efeito negativo), mostrando que estes fungos respondem mais positivamente à aplicação de biocarvão que outros tipos de material orgânico. Os autores também descreveram quatro mecanismos de atuação do biocarvão para os fungos micorrízicos: o biocarvão aumenta a disponibilidade de nutrientes do meio, primordial para o crescimento dos fungos; o biocarvão altera a atividade de outros microrganismos que tem efeito nas micorrizas; o biocarvão modifica a dinâmica da rizosfera, aumentando a interação entre micróbios, raízes das plantas e fungos micorrízicos; e biocarvão atua como refúgio para fungos e bactérias colonizadores.

Também é observada a interação do biocarvão com o solo na adsorção de substâncias prejudiciais ao meio ambiente, normalmente presentes em herbicidas e pesticidas. Spokas *et al.* (2009) notaram que a adição de biocarvão, em quantidades superiores a 60 t ha^{-1} , aumentaram a adsorção de atrazina e acetochlor comparado ao solo controle, sem adição de biocarvão, resultando na diminuição da lixiviação destas substâncias dos herbicidas avaliados. Zhang *et al.* (2012) avaliaram o efeito do biocarvão de *Pinus radiata* na adsorção de fenantreno, um hidrocarboneto aromático policíclico, prejudicial ao meio ambiente, que é formado a partir da combustão incompleta de matérias que contem carbono, principalmente em lixões e refinarias de petróleo e xisto. Os autores observaram que o biocarvão produzido a 700°C foi mais efetivo para a adsorção da substância que o biocarvão produzido a 350°C , devido a maior superfície específica do primeiro. Yu *et al.* (2009) notaram que solos adicionados com mais de 5 t ha^{-1} de biocarvão de *Eucalyptus* spp. foram capazes de reduzir a absorção de chlorpyrifos e carbofuran por plantas de cebola (*Allium cepa*), componentes químicos presentes em herbicidas e inseticidas que podem ser prejudiciais a saúde humana.

4 BIOCÁRVÃO E CRESCIMENTO VEGETAL

Na agricultura, o uso do biocárvão tem resultados significativos nos ganhos em produtividade. Em uma revisão com a utilização de quase 50 trabalhos publicados, através de uma análise quantitativa dos efeitos da aplicação de biochar ao solo na produtividade das culturas utilizando “meta-análise”, Jeffery *et al.* (2011) avaliaram que, no geral, a utilização do biocárvão aumentou, em média, 10% da produtividade agrícola, no entanto, a estatística revelou uma ampla gama de abrangência, podendo variar entre -28 a 39% na produtividade média das culturas avaliadas. A utilização de biocárvão em solos ácidos ou com pH neutro, e em solos de textura média ou arenosa, também apresentou efeitos significativos e positivos para a produtividade agrícola. Os autores ainda afirmam que as mais altas produtividades foram obtidas quando se utilizou 100 Mg ha⁻¹ de biocárvão. Considerando a matéria prima, os biocárvoes provenientes de cama de aviário proporcionaram os mais altos ganhos em produtividade, enquanto que os biocárvoes de lodo de esgoto foram os que promoveram as mais baixas produtividades.

Yamato *et al.* (2006) observaram, na Indonésia, que a produtividade de milho aumentou 25% com relação ao tratamento controle através da aplicação de 25 t ha⁻¹ de biocárvão de casca de *Acacia mangium*. Major *et al.* (2010) aplicaram 20 t ha⁻¹ de biocárvão, produzido a partir de resíduos de madeira, em experimento com milho na Colômbia, e avaliaram durante quatro anos. Não houve diferença significativa no primeiro ano de produção de milho comparado ao tratamento testemunha. No entanto, houve um aumento de 28, 30 e 140% no total de grãos produzidos no segundo, terceiro e quarto anos após a aplicação de biocárvão, respectivamente. Van Zwieten *et al.* (2010) observaram um aumento na produtividade de cultivos de trigo, soja e rabanete de 170, 60 e 15%, respectivamente, após a aplicação de biocárvão, produzido a partir de resíduos da indústria de papel, comparados ao tratamento controle, na Austrália. Em experimentação no Laos, Asai *et al.* (2009) encontraram um aumento de 30% na produtividade de arroz quando foi aplicado 8 t ha⁻¹ de biocárvão de resíduos de madeira em comparação ao tratamento testemunha.

Em estudo avaliando a interação de três tipos solo e quatro tipos de biocárvão, provenientes de palha de trigo, cavacos de madeira e poda de vinhedo,

no crescimento mostarda (*Sinapis alba* L.), cevada (*Hordeum vulgare* L.), e trevo vermelho (*Trifolium pretense* L.), Kloss *et al.* (2014) observaram que o crescimento de mostarda, no primeiro ciclo, e de cevada, no segundo ciclo, foram reduzidos com a utilização de biocarvão. Os autores notaram que apenas o biocarvão de cavacos de madeira foi capaz de promover ganhos na produtividade de cevada, comparado ao tratamento controle.

Shulz e Glaser (2012) avaliaram a utilização de biocarvão, composto orgânico, fertilização mineral e suas combinações no crescimento de aveia (*Avena sativa* L.), em casa de vegetação. A utilização do composto orgânico puro proporcionou a mais alta produtividade seguida da mistura do biocarvão mais o composto. A utilização de biocarvão mais a fertilização mineral apresentou média superior na produtividade de aveia que o tratamento apenas com fertilização mineral. Resultados similares foram encontrados por Alburquerque *et al.* (2013), que ao avaliarem a influência do biocarvão, como condicionador de solo na produtividade de trigo, em casa de vegetação. O biocarvão foi produzido a partir da pirólise da palha de trigo e dos resíduos das podas de oliveiras. Os autores notaram que o biocarvão associado à fertilização mineral aumentou em 20-30% a produtividade de grãos de trigo comparado ao tratamento apenas com adubação mineral. Já Zhang *et al.* (2012), observaram que após a aplicação de 20 e 40 Mg ha⁻¹ de biocarvão de palha de trigo, a produtividade de milho aumentou em 15,8 e 7,3% sem a utilização de fertilização nitrogenada; e em 8,8 e 12,1% com a fertilização nitrogenada, respectivamente, em experimento em campo.

Schmidt *et al.* (2014) avaliaram a utilização de biocarvão, de resíduos de madeira (8 Mg ha⁻¹), composto orgânico (55 Mg ha⁻¹) e a mistura de ambos (8 Mg ha⁻¹ de biocarvão + 55 Mg ha⁻¹ de composto orgânico) no crescimento, qualidade nutricional e qualidade das uvas em um vinhedo durante três anos. De uma maneira geral, os autores concluíram que os tratamentos com biocarvão e biocarvão mais composto orgânico proporcionaram apenas pequenos efeitos, não significativos ou economicamente irrelevantes, para as variáveis analisadas. Similarmente, Liang *et al.* (2014) não encontraram diferenças significativas na produtividade de milho e trigo com a aplicação de biocarvão (30, 60 ou 90 Mg ha⁻¹) durante três anos de avaliação.

Petter *et al.* (2012) avaliaram a interação de doses do fertilizante mineral NPK e doses de biocarvão de eucalipto sobre a produtividade e o desenvolvimento do arroz de terras altas. Após um ano de avaliação, o biocarvão foi o único fator que

apresentou efeito significativo com a produtividade de arroz. Já no segundo ano, apesar de ser superado pela produtividade apresentada nos tratamentos com fertilização, o biocarvão se correlacionou significativamente com o fertilizante no crescimento das plantas e no acúmulo de massa de matéria seca.

Chan *et al.* (2007) observaram a importância da utilização de fertilizante nitrogenado juntamente com a aplicação do biocarvão, que foi produzido a partir de resíduos agrícolas (de poda, de grama e de algodão), em experimento em casa de vegetação. Os autores notaram que na ausência do fertilizante, mesmo em uma alta quantidade (100 Mg ha^{-1} de biocarvão) a produtividade de rabanete (*Raphanus sativus*) não foi melhorada. No entanto, com a aplicação de 100 kg N ha^{-1} , associado à 100 t ha^{-1} de biocarvão, a produtividade em massa seca aumentou 266% comparada ao tratamento testemunha.

Apesar de ser menos expressiva, a utilização de biocarvão para o crescimento de espécies florestais tem sido testada. Em um experimento em casa de vegetação, Plunchon *et al.* (2014), avaliando o crescimento de mudas de quatro espécies florestais produzidas em solos adubados com nove tipos de biocarvão provenientes de coníferas e folhosas, notaram que, em geral, a adição de biocarvão apresentou efeito positivo ou neutro no crescimento das mudas. Os autores ainda notaram que os biocarvões provenientes de angiospermas proporcionaram um maior crescimento das mudas que os biocarvões provenientes de gimnospermas, e ainda, as mudas de angiospermas responderam melhor ao biocarvão que as mudas de gimnospermas.

O uso de biocarvão de resíduos agrícolas no substrato proporcionou melhoria na emergência das sementes de sete espécies arbóreas avaliadas na Zâmbia (CHIDUMAYO, 1994). O autor ainda notou que o crescimento das mudas de seis, das sete espécies avaliadas, foi maior quando o biocarvão foi utilizado como componente de substrato. Apenas para uma das sete espécies avaliadas, a utilização do tratamento controle, apenas solo como substrato para o crescimento das mudas, o biocarvão proporcionou médias inferiores no crescimento.

A aplicação de $4,5 \text{ t ha}^{-1}$ de uma mistura de biocarvão e cinzas, proveniente de uma usina termelétrica, foi avaliada em um povoamento de *Pinus radiata*, com idade de 13 anos no início de plantio, em dois tipos de solo, por Omil *et al.* (2013). Os autores observaram respostas no crescimento em altura, diâmetro e volume principalmente após dois anos de aplicação da mistura. Os autores concluíram que o

crescimento foi mais evidente no sítio de qualidade mais baixa. Ainda, sugerem que o biocarvão pode ser uma alternativa para uma silvicultura intensiva em sítios poucos produtivos em diferentes estágios de estabelecimento do povoamento, com aplicação antes do fechamento das copas ou logo após o desbaste.

Santalla *et al.* (2011), em trabalho realizado na aplicação de biocarvão e cinzas em um povoamento de *Pinus radiata* com 25 anos de idade, observaram que a aplicação da mistura, após quatro anos da aplicação, proporcionou maiores incrementos de altura e diâmetro que o tratamento controle. No entanto, os autores encontraram que o tratamento combinado com Ca (493 kg de Ca ha⁻¹) e P (65 kg P ha⁻¹) apresentou as maiores médias de altura e diâmetro, passados quatro anos após a aplicação, sendo estatisticamente superior ao tratamento controle, mas não ao tratamento com biocarvão e cinzas.

Avaliando o crescimento de *Pseudotsuga menziesii* aos cinco anos de idade, Solla-Gullon *et al.* (2006) observaram que a aplicação de biocarvão da indústria de papel e celulose contribuiu para o crescimento em altura do povoamento em 5,4 e 18% após o quarto ano da aplicação de 10 e 20 t ha⁻¹, respectivamente, quando comparados ao tratamento controle.

5 BIOCARVÃO E O SEU EFEITO NA EMISSÃO DE GASES DO EFEITO ESTUFA

Atualmente, não existe um termo que defina bem o processo de sequestro de C pelo uso do biocarvão. O termo sequestro de C no solo tipicamente se refere ao C que está estocado no solo como resultado de uma troca no manejo que aumenta o retorno da biomassa no solo ou diminui a sua decomposição. No entanto, tal sequestro é frequentemente debatido por questões de tempo de permanência e perdas de C no solo. Por contraste, a pirólise transforma a biomassa e estabiliza o carbono no biocarvão em uma forma que é mais resistente à decomposição quando aplicado ao solo (GAUNT; COWIE, 2009).

O processo de pirólise do biocarvão é uma das poucas opções disponíveis na obtenção da tecnologia de carbono-negativo em curto prazo. Os biocarvões quando incorporados ao solo podem prover um estoque estável de carbono em um longo intervalo de tempo. Primeiramente o dióxido de carbono da atmosfera é removido durante o processo de produção do biocarvão, que adicionado ao solo, promove um maior crescimento das plantas, e seguida, é armazenado com uma forma de carbono estável, que dificilmente é decomposto e retorna à atmosfera (BROWNSORT, 2009).

O manejo convencional da biomassa, como a deposição em aterros, conduz a uma liberação de metano (CH_4) e óxido nitroso (N_2O), gases que contribuem para o aumento do efeito estufa, já que a biomassa se decompõe sob condições anaeróbicas. Estratégias de manejo que evitem estas emissões podem contribuir significativamente para mitigar problemas ambientais. Muitos resíduos orgânicos são passíveis para a produção de biocarvão. A quantidade de emissões evitadas através da transformação em biocarvão é dependente da natureza da biomassa utilizada e do manejo envolvido. No processo de produção de biocarvão, a liberação inicial de gases de efeito estufa é mais rápida que ocorreria durante a decomposição natural, contudo, a maioria da porção remanescente é provavelmente mais estável centenas de anos quando adicionada ao solo (GAUNT; COWIE, 2009).

Lehmann *et al.* (2006) estimam que até 12% do total das emissões de C por mudança no uso da terra poderiam ser evitadas anualmente desde que o sistema

tradicional “*slash-and-burn*” (corte e queima) fosse substituído pelo então denominado “*slash-and-char*” (corte e produção de biocarvão).

Enquanto materiais lenhosos apresentam um conteúdo de 50% de C, o biocarvão possui cerca de 70 a 80% de C, que podem ser permanentemente depositados no solo. O carbono lábil tem meia vida de um a cinco anos, o carbono húmico, de décadas, e o carbono orgânico inerte, como o do biocarvão, pode durar milhares de anos. Para cada tonelada de C perdida no solo, adiciona-se 3,67 toneladas de CO₂ na atmosfera (WINSLEY, 2007).

Lehmann (2007a) acredita que quando combinado com a produção bioenergética, ou seja, com a captação dos gases produzidos durante a pirólise, o biocarvão é uma tecnologia limpa para sequestro de carbono. E é, portanto, um alvo atrativo para subsídios à produção energética e para a sua inclusão no mercado global de créditos de carbono. O autor ainda afirma que 10% das emissões anuais de C dos Estados Unidos poderiam ser evitadas através da utilização do biocarvão.

De acordo com Van Zwieten *et al.* (2009), recente estudos mostram que o biocarvão aplicado ao solo reduz as emissões de N₂O, o que podem ser explicados por processos e efeitos indiretos: através da remoção de compostos inibidores (por exemplo, fenóis) da solução do solo, que são adsorvidos pela superfície do biocarvão; pela formação de um biofilme de nitrificantes ao redor das partículas de biocarvão; por suprimir a atividade do meio, competindo com microorganismos heterotróficos, assim aumentando a disponibilidade de NH₄ para melhor proliferação de nitrificantes; e por elevar o pH do solo, contribuindo para a mineralização de N e, posteriormente, nitrificação.

Muito pouco se sabe sobre tempo de meia-vida do biocarvão no solo, principalmente por duas razões: primeiramente, a recalcitrância do biocarvão depende de uma série de fatores, incluindo o tipo de biomassa usado na pirólise, das condições de produção, das propriedades do solo e das condições climáticas. Em segundo lugar, a quantificação da estabilidade requer observações a longo-prazo, superior aos períodos viáveis de experimentos tradicionais (LEHMANN, 2007b).

Ghani *et al.* (2013), avaliaram o potencial do biocarvão produzido a partir de serragem de pinus no sequestro de C, através de suas características físico-químicas. Os autores observaram que com o aumento da temperatura, o conteúdo de C também foi aumentado, mostrando um efeito inverso nas relações atômicas

H/C e O/C. Os resultados de infravermelho indicaram um grupo funcional aromático no comprimento de 866 cm^{-1} em muitas amostras, mostrando recalcitrância no material produzido. Ainda concluíram que a taxa de adsorção de CO_2 no biocarvão aumentou com o aumento da temperatura de pirólise de 450 a 650°C , e então, ocorrendo posterior diminuição com o aumento da temperatura.

Nguyen *et al.* (2008) estimaram a o tempo de permanência do C em solos no Quênia, em oito diferentes momentos de coleta (de dois a 100 anos), em florestas que sofreram queimadas. Os autores observaram que os conteúdo de C decresceu rapidamente, de $12,7$ a $3,8\text{ mg C g}^{-1}$ de solo, nos 30 primeiros anos de deposição. Depois disso houve há uma pequena diminuição no conteúdo de carbono até atingir a estabilização em $3,5\text{ mg C g}^{-1}$ de solo. Os autores ainda estimaram que em 100 anos a perda total de C foi ao redor de $6000\text{ kg}^{-1}\text{ C ha}^{-1}$.

Para Ippolito *et al.* (2012) o biocarvão é um agente efetivo no sequestro de C nos solos, principalmente se produzido em moderadas ou altas temperaturas, pois se torna estável contra a ação decompositora de microrganismos e então persistirá por centenas ou até milhares de anos nos solos. No entanto, o impacto na rede de gases de efeito estufa é dependente da aplicação do biocarvão no solo no aumento da eficiência da mineralização ou humificação, na ciclagem de matéria orgânica do solo e nas emissões de CH_4 e N_2O . Além disso, o impacto global das alterações biochar também deve incluir as emissões de gases de efeito estufa resultantes da produção de biocarvão, do transporte e da própria aplicação no solo.

Alho *et al.* (2012) aplicaram quatro diferentes doses de biocarvão (carvão comercial) moído a 2 mm, em experimento conduzido em vasos, sob condições de casa de vegetação e com aplicação do equivalente a 100 kg ha^{-1} de N em todos os tratamentos. Os autores concluíram que doses de biocarvão acima de 5 t ha^{-1} começaram a mitigar as emissões de N_2O no solo avaliado. No entanto, doses inferiores a 5 t ha^{-1} aumentam as emissões de N_2O .

Em experimento em casa de vegetação, Zhao *et al.* (2014) avaliaram os efeitos da aplicação de biocarvão de palha de arroz em solo para o sequestro de C e emissão de gases de efeito estufa. Os autores encontraram que as mais baixas emissões de CH_4 foram observadas no tratamento com biocarvão, comparado ao tratamento controle e ao tratamento com palha de arroz *in natura*, mesmo o biocarvão trazendo mais C ao solo. Já as emissões de N_2O foram similares entre o tratamento controle e o tratamento com biocarvão.

Mukherjee *et al.* (2014), avaliaram a utilização de biocarvão (carvão comercial), águas residuais e ácido húmico, adicionados em solo argilo-siltoso, em experimento em campo. Depois de quatro meses de incubação, os autores não observaram diferenças significativas entre os tratamentos para as emissões acumuladas de CH₄ e CO₂, no entanto, o biocarvão reduziu em 92% as emissões de N₂O, comparado ao tratamento controle. Os autores ainda ressaltaram que considerando o C removido pela atmosfera (através do crescimento da soja) e o C adicionado, o tratamento com biocarvão proporcionou um efeito de emissão negativa, onde a capacidade de armazenamento foi superior à liberação de C.

Avaliando as emissões de gases de efeito estufa, em experimento em campo, Zhang *et al.* (2012) observaram reduções nas emissões N₂O em 10,7 e 41,8% nos tratamentos com 20 e 40 t ha⁻¹ de biocarvão de palha de trigo, respectivamente, comparados ao tratamento controle. No entanto, o tratamento com a maior quantidade de biocarvão aplicada (40 t ha⁻¹) aumentou em 12% as taxas de emissão de CO₂, em comparação ao controle.

REFERÊNCIAS

- ALBURQUERQUE, J. A.; SALAZAR, P.; BARRÓN, V.; TORRENT, J.; CAMPILLO, M. C.; GALLARDO, A.; VILLAR, R. Enhanced wheat yield by biochar addition under different mineral fertilization levels. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 33, p. 475–484, 2013.
- ALHO, C. F. B. V.; CARDOSO, A. S.; ALVES, B. J. R.; NOVOTNY, E. H. Biochar and soil nitrous oxide emissions. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 47, n. 5, p. 722-725, 2012.
- ANTAL JR, M. J; GRONLI, M. The art, science, and technology of charcoal production. **Industrial & Engineering Chemistry Research**. v. 42, p. 1619-1640, 2003.
- ASAI, H.; SAMSON, B.K.; STEPHAN, H.M.; SONGYIKHANGSUTHOR, K.; HOMMA, K.; KIYONO, Y.; INOUE, Y.; SHIRAIWA, T.; HORIE, T. Biochar amendment techniques for upland rice production in Northern Laos: 1. Soil physical properties, leaf SPAD and grain yield. **Field Crops Research**, v. 111, p. 81–84, 2009.
- ATKINSON, C. J.; FITZGERALD, J. D.; HIPPS, N. A. Potential mechanisms for achieving agricultural benefits from biochar application to temperate soils: a review. **Plant Soil**, v. 337, p. 1–18, 2010.
- BREWER, C. E.; UNGER, R.; SCHMIDT-ROHR, K. S.; BROWN, R. C. Criteria to select biochars for field studies based on biochar chemical properties. **Bioenergy Research**, v. 4, p. 312–323, 2011.
- BROWN, R. Biochar production technology. In: LEHMANN, J.; JOSEPH, S. (Eds). **Biochar for environmental management: Science and Technology**. London: Earthscan, 2009. p. 127-148.
- BROWNSORT, P. A. Biomass pyrolysis processes: review of scope, control and variability. **United Kingdom Biochar Research Centre**, v.1, p. 1-39, 2009.
- CANTRELL, K. B.; HUNT, P. G.; UCHIMIYA, M.; NOVAK, J. M.; RO, K. S. Impact of pyrolysis temperature and manure source on physicochemical characteristics of biochar. **Bioresource Technology**, v. 107, p. 419–428, 2012.
- CHAN, K. Y.; VAN ZWIETEN, L.; MESZAROS, I. DOWNIE, A.; JOSEPH, S. Agronomic values of greenwaste biochar as a soil amendment. **Australian Journal of Soil Research**. v. 45, p. 629-634, 2007.

CHIDUMAYO, E. N. Effects of wood carbonization on soil and initial development of seedlings in miombo woodland, Zambia. **Forest Ecology and Management**, v. 70, p. 353-357, 1994.

DEVEREUX, R. C.; STURROCK, C. J.; MOONEY, S. J. The effects of biochar on soil physical properties and winter wheat growth. **Earth and Environmental Science Transactions of the Royal Society of Edinburgh**, v. 103, p. 13–18, 2012.

ENDERS, A.; HANLEY, K.; WHITMANA, T.; JOSEPH, S.; LEHMANN, J. Characterization of biochars to evaluate recalcitrance and agronomic performance. **Bioresource Technology**, v. 114, p. 644–653, 2012.

GAUNT, J.; COWIE A. Biochar, greenhouse gas accounting and emissions trading. In: LEHMANN, J.; JOSEPH, S. (Eds). **Biochar for environmental management: Science and Technology**. London: Earthscan, 2009. p. 317-340.

GHANI, W. A. W. A. K.; MOHD, A.; SILVA, G. da; BACHMANN, R. T.; TAUFIQ-YAP, Y. H.; RASHID, H.; AL-MUHTASEB, A. H. Biochar production from waste rubber-wood-sawdust and its potential use in C sequestration: Chemical and physical characterization. **Industrial Crops and Products**, v. 44, p. 18-24, 2013.

GLASER, B.; HAUMEIER, L.; GUGGENBERGER, G.; ZECH, W. The “Terra Preta” Phenomenon: A model for sustainable agriculture in the humid tropics’, **Naturwissenschaften**, vol 88, p. 37–41, 2001.

GLASER, B.; LEHMANN, J.; ZECH, W. Ameliorating physical and chemical properties of highly weathered soils in the tropics with charcoal – a review, **Biology and Fertility of Soils**, v. 35, p. 219–230, 2002.

IPPOLITO, J. A.; LAIRD, D. A.; BUSSCHER, W. J. Environmental benefits of biochar. **Journal of Environmental Quality**, v. 41, p. 967-972, 2012.

JEFFERY, S.; VERHEIJEN, F. G. A.; VAN DER VELDE, M.; BASTOS, A. C. A quantitative review of the effects of biochar application to soils on crop productivity using meta-analysis. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 144, p. 175–187, 2011.

JOSEPH, S.; CAMPS-ARBESTAIN, M.; LIN, Y.; MUNROE, P.; CHIA, C. H.; HOOK, J.; VAN ZWIETEN, L.; KIMBER, S.; COWIE, A.; SINGH, B. P.; LEHMANN, J.; FOIDL, N.; SMERNIK, R. J.; AMONETTE, J. E. An investigation into the reactions of biochar in soil. **Australian Journal of Soil Research**, v. 48, p. 501–515, 2010.

KIM, K. H.; KIM, J. Y.; CHO, T. S.; CHOI, J. W. Influence of pyrolysis temperature on physicochemical properties of biochar obtained from the fast pyrolysis of pitch pine (*Pinus rigida*). **Bioresource Technology**, v. 118, p. 158-162, 2012.

KLOSS, S.; ZEHETNER, F.; WIMMER, B.; BUECKE, J.; REMPT, F.; SOJA, G. Biochar application to temperate soils: Effects on soil fertility and crop growth under greenhouse conditions. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, v.177, p. 3–15, 2014.

LEE, J. W.; KIDDER, M.; EVANS, B. E.; PAIK, S.; BUCHANAN, A. C.; GARTEN, C. T.; BROWN, R. C. Characterization of biochars produced from cornstovers for soil amendment. **Environmental Science & Technology**, v. 44, p. 7970–7974, 2010.

LEHMANN, J. A handful of carbon. **Nature**, v. 447, p. 143–144, 2007a.

LEHMANN, J. Bio-energy in the black. **Frontiers in Ecology and the Environment**, v. 5, p. 381-387, 2007b.

LEHMANN, J.; GUNT, J.; RONDON, M. Biochar sequestration in terrestrial ecosystems – a review. **Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change**, v. 11. p. 395-419, 2006.

LEHMANN, J.; JOSEPH, S. Biochar for Environmental Management: An Introduction. In: LEHMANN, J.; JOSEPH, S (Eds.). **Biochar for environmental management: Science and Technology**. London: Earthscan, 2009. p. 1-12.

LIANG, B.; LEHMANN, J.; SOLOMON, D.; KINYANGI, J.; GROSSMAN, J.; O'NEILL, B.; SKJEMSTAD, J. O.; THIES, J.; LUIZÃO, F. J.; PETERSEN, J.; NEVES, E. G. Black carbon increases cation exchange capacity in soils. **Soil Science Society of American Journal**, v. 70, p. 1719-1730, 2006.

LIANG, F.; LI, G.; LIN, Q.; ZHAO, X. Crop yield and soil properties in the first 3 years after biochar application to a calcareous soil. **Journal of Integrative Agriculture**, v. 13, p. 525-532, 2014.

MAJOR, J.; RONDON, M.; MOLINA, D.; RIHA, S.J.; LEHMANN, J. Maize yield and nutrition during 4 years after biochar application to a Colombian savanna Oxisol. **Plant and Soil**, v. 333, p. 117–128, 2010.

MCCARL, B. A., PEACOCKE, C.; CHRISMAN, R.; KUNG, C.; SANDS, R. D. Economics of biochar production, utilisation and gas offsets In: LEHMANN, J.; JOSEPH, S. (Eds.). **Biochar for Environmental Management: Science and Technology**. London: Earthscan, 2009. p. 341-356.

MUKHERJEE, A.; LAL, R.; A.R. ZIMMERMAN, A. R. Effects of biochar and other amendments on the physical properties and greenhouse gas emissions of an artificially degraded soil. **Science of the Total Environment**, v. 487, p. 26–36, 2014.

NGUYEN, B. T.; LEHMANN, J.; KINYANGI, J.; SMERNIK, R.; RIHA, S. J.; ENGELHARD, M. H. Long-term black carbon dynamics in cultivated soil. **Biogeochemistry**, v. 89, p. 295-308, 2008.

NOVAK, J. M.; BUSSCHER, W. J.; LAIRD, D. L.; AHMEDNA, M.; WATTS, D. W.; NIANDOU, M. A. S. Impact of biochar amendment on fertility of a southeastern coastal plain soil. **Soil Science**, v. 174, p. 105-112, 2009.

NOVAK, J. M.; CANTRELL, K. B.; WATTS, D. W.; BUSSCHER, W. J.; JOHNSON, M. G. Designing relevant biochars as soil amendments using lignocellulosic-based and manure-based feedstocks. **Journal of Soils and Sediments**, v. 14, p. 330–343, 2014.

NOVOTNY, E.; HAYES, M. H. B.; MADARI, B. E.; BONAGAMBA, T. J.; AZEVEDO, E. R. de; SOUZA, A. A. de; SONG, G.; NOGUEIRA, C. M.; MANGRICH, A. S. Lessons from the Terra Preta de Índios of the Amazon Region for the utilization of charcoal for soil amendment. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, v. 20, n. 6, p. 1003-1010, 2009.

OMIL, B.; PIÑEIRO, V.; MERINO, A. Soil and tree responses to the application of wood ash containing charcoal in two soils with contrasting properties. **Forest Ecology and Management**, v. 295, p.199–212, 2013.

PETTER, F. A.; MADARI, B. E.; SILVA, M. A. S.; CARNEIRO, M. A. C.; CARVALHO, M. T. .; MARIMON JR, B. H.; PACHECO, L. P. Soil fertility and upland rice yield after biochar application in the Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.47, n.5, p.699-706, 2012.

PLUCHON, N.; GUNDALE, M. J.; NILSSON, M. C.; KARDOL, P.; WARDLE, D. A. Stimulation of boreal tree seedling growth by wood-derived charcoal: effects of charcoal properties, seedling species and soil fertility. **Functional Ecology**, v. 28, p. 766–775, 2014.

SANTALLA, M.; OMIL, B.; RODRÍGUEZ-SOALLEIRO, R.; MERINO, A. Effectiveness of wood ash containing charcoal as a fertilizer for a forest plantation in a temperate region. **Plant Soil**, v. 346, p.63–78, 2011.

SCHMIDT, H. P.; KAMMANN, C.; NIGGLIA, C.; EVANGELOU. M. W. H.; MACKIED, K. A.; ABIVEN, S. Biochar and biochar-compost as soil amendments to a vineyard

soil: Influences on plant growth, nutrient uptake, plant health and grape quality. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 191, p. 117–123, 2014.

SCHULZ, H.; GLASER, B. Effects of biochar compared to organic and inorganic fertilizers on soil quality and plant growth in a greenhouse experiment. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, v. 175, p. 410–422, 2012.

SOHI, S. P.; KRULL, E.; LOPEZ-CAPEL, R.; BOL, A. Biochar, climate change and soil: A review to guide future research. **CSIRO Land and Water Science Report**, 2009. 64 p.

SOHI, S. P.; KRULL, E.; LOPEZ-CAPEL, R.; BOL, A. Review of biochar and its use and function in soil. In: SPARKS, D. L. (Ed.). **Advances in Agronomy**. Burlington: Academic Press, 2010, p.47-82.

SOLLA-GULLON, F.; SANTALLA, M.; RODRIGUEZ-SOALLEIRO, R.; MERINO, A. Nutritional status and growth of a young *Pseudotsuga menziesii* plantation in a temperate region after application of wood-bark ash. **Forest Ecology and Management**, v. 237, p. 312–321, 2006.

SOMBROEK, W.; KERN, D.; RODRIQUES, T.; CRAVO, M. S.; JARBAS, T. C.; WOODS, W.; GLASER, B. Terra Preta and Terra Mulata: Pre-Columbian Amazon kitchen middens and agricultural fields, their sustainability and their replication. In: **Proceedings of the 17th World Congress of Soil Science**, Thailand, Paper no 1935. 2002.

SPOKAS, K. A.; KOSKINEN, W. C.; BAKER, J. M.; REICOSKY, D. C. Impacts of woodchip biochar additions on greenhouse gas production and sorption/degradation of two herbicides in a Minnesota soil. **Chemosphere**, v. 77, p. 574–58, 2009.

TSAI, W.T.; Sii-Chew LIU, S. C.; Huei-Ru CHEN, H. R.; CHANG, Y. M.; TSAI, Y. L. Textural and chemical properties of swine-manure-derived biochar pertinent to its potential use as a soil amendment. **Chemosphere**, v. 89, p. 198–203, 2012.

UZOMA, K. C.; INOUE, M.; ANDRY, H.; ZAHOOR, A.; NISHIHARA, E. Influence of biochar application on sandy soil hydraulic properties and nutrient retention. *Journal of Food, Agriculture & Environment*, v. 9, p. 1137-1143, 2011.

VAN ZWIETEN, L.; KIMBER, S.; MORRIS, S.; CHAN, K. Y.; DOWNIE, A.; RUST, J.; JOSEPH, S.; COWIE, A. Effects of biochar from slow pyrolysis of papermill waste on agronomic performance and soil fertility. **Plant and Soil**, v. 327, p. 235-246, 2010.

VAN ZWIETEN, L.; SINGH, B.; JOSEPH, S.; KIMBER, S.; COWIE, A.; CHAN, K. Y. Biochar and Emissions of Non-CO₂ Greenhouse Gases from Soil. In: LEHMANN, J.;

JOSEPH, S. (Eds). **Biochar for Environmental Management: Science and Technology**. London: Earthscan, 2009. p. 227-250.

VERHEIJEN, F. G. A.; JEFFERY, S.; BASTOS, A. C.; VAN DER VELDE, M.; DIAFAS, I. Biochar Application to Soils - A Critical Scientific Review of Effects on Soil Properties, **Processes and Functions**. Luxembourg: EUR 24099 EN, Office for the Official Publications of the European Communities, 2009. 149p.

WARNOCK, D. D.; LEHMANN, J.; KUYPER, T. W.; RILLIG, M. C. Mycorrhizal responses to biochar in soil – concepts and mechanisms. **Plant Soil**, v. 300, p. 9–20, 2007.

WINSLEY, P. Biochar and bioenergy production for climate change mitigation. **New Zealand Science Review**, v. 64, p. 5-10, 2007.

YAMATO, M.; OKIMORI, Y.; WIBOWO, I.F.; ANSHORI, S.; OGAWA, M. Effects of the application of charred bark of *Acacia mangium* on the yield of maize, cowpea and peanut, and soil chemical properties in South Sumatra, Indonesia. **Soil Science and Plant Nutrition**, v. 52, p. 489–495, 2006.

YU, X. Y.; YING, G. G.; KOOKANA, R. S. Reduced plant uptake of pesticides with biochar additions to soil. **Chemosphere**, v. 76, p. 665-671, 2009.

YU, X. Y.; YING, G. G.; KOOKANA, R. S. Sorption and desorption behaviors of diuron in soils amended with charcoal. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 54, p. 8545–8550, 2006.

ZHANG, A.; LIU, Z.; PAN, P.; HUSSAIN, Q.; LI, L.; ZHENG, J.; ZHANG, X. Effect of biochar amendment on maize yield and greenhouse gas emissions from a soil organic carbon poor calcareous loamy soil from Central China Plain. **Plant Soil**, v. 351, p. 263–275, 2012.

ZHAO, X.; WANG, J.; WANG, S.; XING, G. Successive straw biochar application as a strategy to sequester carbon and improve fertility: A pot experiment with two rice/wheat rotations in paddy soil. **Plant Soil**, v. 378, p. 279–294, 2014.

BIOCARVÃO DA SERRAGEM DE PINUS PARA A PRODUÇÃO DE MUDAS SEMINAIS E CLONAIIS DE *Pinus taeda* L.

RESUMO

Biocarvão pode contribuir diretamente como fonte de nutrientes e também aumentar da eficiência da adubação, dada a sua interatividade com o meio. Além da aplicação do biocarvão em solos agrícolas, as propriedades do biocarvão também permitem sua utilização como componente de substrato para a produção de mudas florestais. O uso de mudas com qualidade morfológica e nutricional é um dos fatores que contribui para o rápido crescimento inicial de *Pinus taeda* no Brasil. O objetivo deste trabalho foi avaliar a utilização de biocarvão como componente de substrato para a produção de mudas da espécie, bem como analisar a caracterização deste biocarvão produzido em forno artesanal. Dois experimentos para a produção de mudas de *Pinus taeda* foram montados: um por propagação seminal e o outro por propagação clonal. As mudas foram produzidas através da utilização de biocarvão e/ou substrato comercial florestal como componentes do substrato. O delineamento experimental, para ambos os experimentos, foi em blocos casualizados nas seguintes proporções (v:v) de biocarvão (BC) e substrato comercial (SC): 0BC:100SC (BC 0); 20BC:80SC (BC 20); 40BC:60SC (BC 40); 60BC:40SC (BC 60); 80BC:20SC (BC 80) e 100BC:0SC (BC 100). O biocarvão utilizado na composição dos tratamentos foi produzido a partir de serragem de *Pinus* sp. pirolisada em um forno artesanal. Os resultados para a análise atômica apresentou diferenças significativas para os teores totais de carbono ($p=0,001$), nitrogênio ($p=0,001$) e oxigênio ($p=0,001$). O tratamento BC 100 apresentou a menor relação H/C ($p=0,001$) e O/C ($p=0,059$), indicando maior aromaticidade, devido a maior quantidade de biocarvão presente no substrato. Na produção de mudas seminais, os tratamentos BC 60 e BC 80 apresentaram as maiores médias para a altura ($p=0,001$) e diâmetro ($p=0,002$) das mudas aos 300 dias após a semeadura. Tratamentos constituídos apenas por biocarvão ou substrato comercial (BC 100 e BC 0) apresentaram as mais baixas médias para a massa seca total (MST) ($p=0,035$) nas mudas seminais, diferenciando estatisticamente do tratamento BC 60, que apresentou a maior média para esta variável. As mudas produzidas por clonagem no tratamento BC 20 apresentaram, aos 150 dias, a maior média de enraizamento ($p=0,001$), e aos 330 dias, as maiores médias altura ($p=0,001$), diâmetro ($p=0,001$) e MST ($p=0,001$), diferenciando-se estatisticamente dos tratamentos BC 60, BC 80 e BC 100, que apresentaram as menores médias. Conclui-se que a utilização de 20% de biocarvão na composição do substrato, para a produção de mudas clonais e a utilização de 60% de biocarvão como componente do substrato, para mudas seminais, são as mais indicadas para a produção de mudas de *P. taeda*.

Palavras-chaves: viveiro, carbono, clonagem, pirólise.

PINUS SAWDUST BIOCHAR FOR SEEDLINGS PRODUCTION FROM *Pinus taeda* SEEDS AND CUTTINGS

ABSTRACT

Biochar can contribute directly as a source of nutrients and also increase the fertilization efficiency, due to its interaction with the substrate. Besides the application of biochar to agricultural soils, the properties of biochar also allow its use as a substrate component for forest seedlings production. The use of seedlings with morphological and nutritional quality is one of the factors that contribute to the fast initial growth of *Pinus taeda* in Brazil. The aim of this study was to evaluate the use of biochar as a substrate component for *P. taeda* seedlings production as well as to analyze the characterization of this biochar produced in a handmade oven. Two experiments for the production of *P. taeda* seedlings were mounted: one for seed propagation and another for clonal propagation. The seedlings were produced by using biochar and / or commercial forestry substrate as substrate components. The experimental design for both experiments was the completely randomized block design in the following proportions (v:v) of biochar (BC) and commercial substrate (SC): 0BC:100SC (BC 0); 20BC:80SC (BC 20); 40BC:60SC (BC 40); 60BC:40SC (BC 60); 80BC:20SC (BC 80) and 100BC:0SC (BC 100). The biochar used in the composition of the treatments was made from sawdust *Pinus* sp. pyrolyzed in a handmade oven. The results for atomic analysis showed significant differences for the total content of carbon ($p=0,001$), nitrogen ($p=0,001$) and oxygen ($p=0,001$). The BC 100 treatment had the lowest H/C ($p=0,001$) and O/C ($p=0,059$) ratio, and higher aromaticity due to the greater amount of biochar present in the substrate. In the seedlings production, the BC 60 and BC 80 treatments showed the highest averages for the height ($p=0,001$) and diameter ($p=0,001$) in seedlings at 300 days after sowing. Treatments that had only biochar or commercial substrate (BC 100 and BC 0) had the lowest average for total dry mass (MST) ($p=0,035$), statistically different from treatment BC 60, which had the highest average for this variable. The seedlings produced by cuttings in the 20 BC treatment showed, at 150 days, the highest average of rooting ($p=0,001$), and at 330 days, the highest average of height ($p=0,001$), diameter ($p=0,001$) and MST ($p=0,001$). It is concluded that the use of 20% of biochar in the substrate composition, for seedlings production from cuttings, and the use of 60% of biochar as substrate component for seedlings production from seeds, are the most suitable for the production of *P. taeda* seedlings.

Keywords: forest nursery, carbon, cloning, pyrolysis.

1 INTRODUÇÃO

O biocarvão é o produto formado a partir da decomposição térmica da biomassa, em ambiente fechado, através de suprimento limitado de oxigênio e de temperaturas relativamente baixas. É na verdade o resíduo sólido da pirólise utilizada para a produção do bio-óleo renovável (LEHMANN e JOSEPH, 2009; SOCHI *et al.*, 2010). Por isso, gera maior valor agregado ao material residual, essencial para a sustentabilidade da conversão da biomassa em energia (MCCARL, *et al.* 2009).

O processo de obtenção do biocarvão promove um rearranjo dos átomos de carbono, aumentando a porosidade do material, isto proporciona melhoria nas propriedades químicas, principalmente pela alta superfície específica resultando em aumento da capacidade de troca de cátions e adsorção de nutrientes (ATKINSON *et al.*, 2010).

O biocarvão, quando aplicado ao solo, pode promover o aumento a capacidade de retenção de água, a redução da densidade do solo e aumentar a capacidade de troca de cátions (CTC) (WARNOCK *et al.*, 2007; KARHUL *et al.*, 2011), aumento no pH (YUAN e XU, 2011), sequestro de carbono (LEHMANN *et al.*, 2006) e aumentar níveis de certo nutrientes em plantas (MAJOR *et al.*, 2010).

A eficiência da utilização do biocarvão é dependente da matéria prima e do processo de produção do mesmo (KRULL, 2009). O biocarvão pode contribuir significativamente como fonte de nutrientes (KOOKANA *et al.*, 2011), agindo também como adsorvente de nutrientes, o que promove aumento da eficiência da adubação (MADARI *et al.*, 2010). Apesar ser considerado um material bastante inerte, este possui na sua estrutura molecular sítios capazes de realizar troca iônica, podendo contribuir para o aumento da CTC e assim proporcionar maior disponibilidade de nutrientes (NOVOTNY *et al.*, 2009).

Além da aplicação do biocarvão em solos agrícolas, as propriedades do biocarvão também permitem sua utilização como componente de substrato na produção de mudas em recipientes com baixa capacidade volumétrica. Vaughn *et al.* (2013) observaram que a substituição da turfa por biocarvão aumentou o pH, a densidade, a condutividade elétrica dos substratos. Dumroese *et al.* (2011) sugeriram que um substrato composto por 25% de biocarvão e 75% turfa pode ser o

mais apropriado para produção de mudas em tubetes. Nestas mesmas proporções, Headlee *et al.* (2014) encontraram maiores médias para CTC, N, Ca e Mg e para a massa seca radicular e total em um híbrido de *Populus* spp., quando comparado ao tratamento testemunha formulado apenas com turfa. Lehmann *et al.* (2002) reportaram aumento na disponibilidade de P e K na solução, apesar de ter havido diminuição na absorção de N e Mg em mudas de *Inga edulis*. Também foram relatados efeitos significativos e positivos na qualidade de mudas de outras espécies florestais, como *Eucalyptus citriodora*, *Eucalyptus urophylla*, *Tectona grandis* e *Tachigali vulgaris* através da utilização de biocarvão como componente de substrato (SOUCHIE *et al.*, 2011; PETTER *et al.*, 2012, REZENDE *et al.*, 2013). Ainda, Dumroese *et al.* (2011), citam que poderiam ser estocados anualmente cerca de 1200 toneladas de C, considerando a produção de 300 milhões de mudas, produzidas em tubetes com a utilização de 25% de biocarvão na composição do substrato, nas regiões da Costa Noroeste do EUA e na Columbia Britânica, no Canadá.

O gênero *Pinus*, depois do *Eucalyptus*, é o mais plantado no Brasil, com cerca de 1,5 milhões de ha, principalmente no Sul do Brasil (ABRAF, 2013). *Pinus taeda* pode ser considerada uma espécie de fácil propagação seminal, no entanto é muito importante que as mudas sejam produzidas com qualidade para um bom desenvolvimento em campo (CARNEIRO, 1995). Porém, considerando a propagação vegetativa da espécie, *P. taeda* pode ser classificada como uma das espécies de coníferas mais difícil de propagar (HAMANN, 1998). Embora o enraizamento de estacas, via miniestaquia seja a técnica de propagação vegetativa mais usada na clonagem, sua utilização não é uma técnica viável e econômica para todas as espécies florestais, e ainda pouco se conhece sobre a utilização desta técnica para *Pinus*, tanto experimental como comercialmente (ANDREJOW, 2006).

Visando melhorar a qualidade na produção de mudas clonais e seminais de *P. taeda*, o objetivo deste trabalho foi caracterizar o biocarvão produzido em forno artesanal a partir da serragem de *Pinus* sp., e avaliar a utilização deste biocarvão como componente de substrato para a produção de mudas de *P. taeda*.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 LOCALIZAÇÃO E PRODUÇÃO DO BIOCARVÃO

Os experimentos foram desenvolvidos no Viveiro Florestal do Laboratório de Melhoramento Florestal (LAMEF) da Universidade Federal do Paraná, em Curitiba (latitude 25°26'51.2"S e longitude 49°14'10.8"W), durante o período de outubro de 2012 a setembro de 2013. Pela classificação de Koeppen, Curitiba localiza-se em região climática do tipo Cfb, com clima temperado (ou subtropical) úmido, mesotérmico, sem estação seca, com verões frescos e invernos com geadas (IPPUC, 2012).

O biocarvão utilizado na composição dos tratamentos foi produzido a partir de serragem de *Pinus* sp. proveniente da serraria da Battistella Florestal. O forno para a pirólise do material foi construído a partir de um tambor de aço de 200 litros com tampa removível, com 85 cm de altura e 60 cm de diâmetro (FIGURA 1). O tambor foi apoiado horizontalmente e fixado em base de aço a uma altura de 45 cm do solo. Foram feitos furos nas partes inferior e laterais do tambor, bem como duas chaminés, para melhor fluxo de oxigênio no interior do forno. O forno foi construído na oficina mecânica da Battistella Florestal e a pirólise do biocarvão foi conduzida no viveiro florestal da empresa, ambos localizados no município de Rio Negrinho, SC.

Para a produção do biocarvão, cerca de 120 litros de serragem de *Pinus* sp. seca ao ar foi introduzido no forno. O início da combustão aconteceu na parte superior da "cama" da serragem, e a queima do material se deu no de cima para baixo. Após 24 horas do início de processo, o forno foi aberto e o material foi retirado do interior do forno. Imediatamente, o biocarvão foi molhado com auxílio de regador até o fim do processo da queima. O biocarvão foi então acomodado em sacos plásticos e então levado ao viveiro florestal do LAMEF.



FIGURA 1. FORNO DE PIRÓLISE PARA A PRODUÇÃO DE BIOCARVÃO DE SERRAGEM DE PINUS
FONTE: O autor (2014).

A temperatura atingida durante o processo de produção do biocarvão foi medida através de um termômetro digital Salcasterm 1200 K e uma sonda de imersão tipo K, com 6 mm de diâmetro e 50 cm de comprimento, e rabicho com capacidade de 4 m de extensão ao termômetro. A sonda foi inserida através de umas das chaminés a uma profundidade de aproximadamente 10 cm da “cama” da serragem no interior do forno. A temperatura foi medida no termômetro à aproximadamente 3 m de distância do forno, de onde foi acompanhado o aumento e a diminuição da temperatura durante a pirólise. A temperatura máxima atingida registrada durante o processo de produção do biocarvão foi 342°C.

2.2 PRODUÇÃO DE MUDAS

Foram realizados dois experimentos para a produção de mudas de *Pinus taeda*, um por propagação seminal e o outro por propagação clonal. As mudas foram produzidas através da utilização de biocarvão e/ou substrato comercial florestal (casca de pinus bioestabilizada) como componentes do substrato. O delineamento experimental, para ambos os experimento, foi em blocos casualizados nas seguintes

proporções (v:v) de biocarvão (BC) e substrato comercial (SC): 0BC:100SC (BC 0); 20BC:80SC (BC 20); 40BC:60SC (BC 40); 60BC:40SC (BC 60); 80BC:20SC (BC 80) e 100BC:0SC (BC 100). Cada parcela experimental foi constituída de 12 plantas e cinco repetições, no experimento de propagação seminal; e sete repetições, no experimento de propagação clonal.

Antes de compor os substratos de cada tratamento, o biocarvão, e também o substrato comercial, foram secos ao ar e peneirados em malha de 2 mm. Com os substratos de cada tratamento homogeneizados, os tubetes foram preenchidos realizando leve compactação manual, de forma que o substrato se acomodasse dentro do tubetes. Os tubetes de polietileno apresentavam capacidade de 140 cm³, com 14 cm de comprimento e 4 cm de diâmetro, e ficaram dispostos em bandeja bandejas de 12 x 8 células.

No momento da mistura dos substratos, foram adicionadas as quantidades de fertilizantes conforme recomendação proposta por Valeri e Corradini (2000), para a produção de mudas eucalipto e pinus em tubetes. Os autores recomendam utilizar 150 g de N, 300 g de P₂O₅ e 100 g de K₂O por metro cúbico de substrato. Optou-se por utilizar fertilizantes em pó, pela facilidade de homogeneização no substrato. Também foram realizadas as adubações de cobertura semanais (VALERI; CORRADINI, 2000): 1000 g de sulfato de amônio e 300 g de cloreto de potássio diluídos em 100 litros d'água (aplicável para 10 mil tubetes). Antes da adubação de base, foram separadas amostras de cada tratamento, para a posterior realização das análises químicas.

2.2.1 Produção de mudas seminais

Para a produção de mudas por sementes, foram utilizadas sementes provenientes do pomar clonal da Battistella Florestal, em Rio Negrinho, SC. A dormência fisiológica das sementes foi superada pelo método do pré-esfriamento, quando as sementes foram mantidas umedecidas a 5°C durante 28 dias (BRASIL, 2009). O teste de germinação revelou que 100% das mudas foram germinadas até o sétimo dia após o teste de germinação.

Realizou-se a semeadura diretamente em tubetes, colocando-se duas sementes por recipiente, devido ao alto índice de germinação. O raleio das mudas

acorreu 14 dias após a semeadura, deixando-se apenas a muda mais vigorosa em cada tubete.

As mudas permaneceram em casa de vegetação por 30 dias, sendo então realocadas em casa de sombra até os 120 dias de idade. Depois disso, as mudas foram transferidas para área de rustificação, aonde permaneceram até os 300 dias de idade, quando realizou-se a avaliação final dos parâmetros morfológicos.

A casa de vegetação apresentou temperatura entre 15 e 25 °C e 90% de umidade relativa do ar, com sistema de irrigação por nebulização automático para manter a umidade relativa pretendida. A casa de sombra, com 50% de capacidade de retenção de luz, e a área de rustificação, dispunham de sistema de irrigação por microaspersão, realizando-se irrigação duas vezes ao dia (09h00 min e 15h00 min), aumentando a lâmina de irrigação sempre que se verificava déficit hídrico.

A altura das mudas foi avaliada aos 120, 240 e 300 dias após a semeadura. O diâmetro, a massa seca radicular, a massa seca da parte aérea e a massa seca total foram avaliados aos 300 dias de idade. As medições de altura da parte aérea e do diâmetro de coleto foram efetuadas, utilizando-se régua graduada e paquímetro digital. As plantas foram separadas em parte aérea e radicular, com o auxílio de tesoura de poda. As raízes foram lavadas em água corrente, para a remoção do substrato ligado às raízes. As partes aérea e a radicular foram colocadas em estufa de circulação forçada de ar a 70 °C, durante 72 horas, quando os materiais atingiram pesos constantes. A massa seca total foi obtida pela soma das massas secas da parte aérea e radicular.

2.2.2 Produção de mudas clonais

A produção de mudas clonais foi realizada através de estacas coletadas em “jardim clonal virtual”, constituído por mudas produzidas por sementes com seis meses de idade, provenientes da Battistella Florestal.

As estacas, entre cinco e oito cm de comprimento, foram cortadas com auxílio de tesoura de poda, na parte superior da muda. As estacas foram então inseridas nos tubetes (uma estaca por tubete) previamente preenchidos com o substrato de cada tratamento. Realizou-se ligeira compactação entre estaca e substrato, aumentando o contato da estaca com o substrato.

As estacas permaneceram em casa de vegetação (com as mesmas condições descritas acima) por 60 dias, sendo então transferidas para a casa de sombra. Após 60 dias em casa de sombra, as estacas foram transferidas para área de rustificação, onde permaneceram até os 330 dias de idade, realizando-se a avaliação final dos parâmetros morfológicos.

O enraizamento das mudas foi avaliado aos 60, 90 e 150 dias após o estaqueamento. Considerou-se enraizada a muda que apresentava sistema radicular saliente à parte inferior do tubete. A altura das mudas foi avaliada aos 150, 270 e 330 dias de idade. O diâmetro, a massa seca radicular, a massa seca da parte aérea e a massa seca total foram avaliados aos 330 dias de idade. As medições de altura da parte aérea, diâmetro de coleto, massa seca radicular da parte aérea e total foram efetuadas da mesma forma que as mudas produzidas por sementes.

2.2.3 Análises químicas dos substratos

A análise de composição elementar e da quantidade de cinzas, material volátil e carbono fixo dos tratamentos foram determinados nos laboratórios do Departamento de Química e Ciências Ambientais da Universidade de Limerick, Irlanda. Os teores de carbono, nitrogênio, hidrogênio e enxofre dos substratos foram determinados via combustão a 1100 °C usando analisador elementar CHNS/O analyzer (Elementar Vario LE Cube). O oxigênio foi determinando por diferença. A quantidade de material volátil foi determinada através da queima do material a 900°C durante 7 minutos em mufla hermeticamente fechada (I.S. EN 15148, 2009). O teor de cinzas foi obtido através da queima do substrato a 250°C por 60 minutos, e a 550°C por 120 minutos. A rampa de aquecimento utilizada foi de 5°C por minuto (I. S. CEN/TS 14775, 2004). O carbono fixo foi determinado por diferença, utilizando-se a soma do material volátil e o teor de cinzas. Todas as análises foram realizadas em três repetições.

2.3 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

A comprovação da distribuição normal dos dados e da homogeneidade das variâncias foi realizada pelos testes de Kolmogorov-Smirnov e Levene,

respectivamente. Após a constatação da significância da análise de variância (teste F), as médias das variáveis para cada tratamento foram comparadas pelo teste de Tukey, ao nível de 95% de probabilidade.

As análises estatísticas foram realizadas com auxílio do software SPSS IBM Statistics ® e Microsoft Excel 2010 ®.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DO BIOCARVÃO E SUBSTRATOS

A análise elementar dos tratamentos formulados com biocarvão e do substrato comercial é apresentada na TABELA 2.

TABELA 2. ANÁLISE ELEMENTAR DOS SUBSTRATOS FORMULADOS COM DIFERENTES PROPORÇÕES DE BIOCARVÃO DE SERRAGEM DE PÍNUS

TRATAMENTOS	ANÁLISE ELEMENTAR (%)			
	N	C	H	O
BC 0	0,50 a	41,9 e	4,06	17,4 c
BC 20	0,44 b	43,6 e	4,13	18,3 bc
BC 40	0,43 b	48,9 d	4,08	19,1 bc
BC 60	0,37 c	54,1 c	4,11	21,4 ab
BC 80	0,34 c	58,2 b	4,19	22,8 a
BC 100	0,32 c	67,1 a	3,92	22,6 a
F (5,12)	32,3**	178,1**	0,35 ^{ns}	10,3**
CV (%)	16,7	17,2	5,9	11,9

Médias seguidas por uma mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de tukey ($p>0,05$). **significativo ao nível de 99% de probabilidade pelo teste F. ^{ns} não significativo pelo teste F ($p>0,05$).

FONTE: O autor (2014)

Houve um aumento na concentração de nitrogênio à medida que se diminuiu a quantidade de biocarvão nos substratos. A maior média foi obtida no tratamento testemunha (BC 0); e as menores médias nos tratamentos BC 60, BC 80 e BC 100.

A quantidade de carbono nos substratos apresentou uma tendência para aumentar a medida que se aumentou a quantidade de biocarvão nos tratamentos. A maior concentração de carbono foi obtida no tratamento BC 100. As menores médias foram observadas nos tratamentos testemunha e BC 20.

Não houve diferenças significativas ($p=0,876$) entre o teor de hidrogênio dos substratos dos diferentes tratamentos, mostrando que o biocarvão utilizado como componente do substrato não influenciou na concentração do elemento.

A relação atômica e os teores de voláteis, cinzas e carbono fixo dos substratos dos tratamentos formulados com biocarvão e do substrato comercial são apresentados na TABELA 3.

TABELA 3. TEOR DE VOLÁTEIS, CINZAS E C FIXO DOS SUBSTRATOS FORMULADOS COM DIFERENTES PROPORÇÕES DE BIOCARVÃO DE SERRAGEM DE PINUS

TRATAMENTOS	Relação atômica			Voláteis (%)	Cinzas (%)	C fixo (%)
	C/N	H/C	O/C			
BC 0	98 e	1,16 a	0,31	46,9 a	3,4 c	49,7 b
BC 20	117 de	1,14 ab	0,32	44,7 a	2,5 c	52,8 b
BC 40	134 d	1,00 bc	0,29	21,2 b	9,5 b	69,3 a
BC 60	172 c	0,91 c	0,30	20,1 b	9,4 b	70,6 a
BC 80	203 b	0,86 c	0,29	17,2 b	12,5 ab	70,3 a
BC 100	244 a	0,70 d	0,25	14,5 c	15,2 a	70,3 a
F (5,12)	113,2**	32,6**	2,9 ^{ns}	32,3**	23,7**	20,2**
CV (%)	32,2	17,7	9,4	4,4	22,3	19,8

Médias seguidas por uma mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ($p>0,05$). **significativo ao nível de 99% de probabilidade pelo teste F. ^{ns} não significativo pelo teste F ($p>0,05$).

FONTE: O autor (2014)

Com o aumento da quantidade de biocarvão nos tratamentos, a relação C/N foi aumentada. Houve uma tendência na diminuição das relações H/C e O/C com o aumento da quantidade de biocarvão nos tratamentos.

Quanto ao teor de cinzas, voláteis e carbono fixo, pode-se notar uma tendência para as três variáveis, quando houve aumento do biocarvão no substrato os teores de voláteis e carbono fixo foram aumentados, e o teor de cinzas diminuído.

A quantidade de carbono fixo e voláteis dão uma relativa medida de estabilidade e da labilidade do material em questão. O teor de cinzas é o sólido residual depois que todos os elementos orgânicos (C, H e N) tenham sido oxidados (JOSEPH *et al.*, 2009).

Comparativamente aos resultados encontrados na literatura, o biocarvão utilizado neste trabalho (BC 100) apresentou resultados semelhantes para a maioria das variáveis avaliadas (TABELA 4), com exceção do material volátil e o do carbono fixo. O biocarvão utilizado no substrato dos tratamentos apresentou média maior para o material volátil e média menor para o carbono fixo. Ressalta-se que estas duas variáveis estão diretamente relacionadas, e assim, com o aumento da percentagem de um, ocorre uma diminuição da percentagem do outro.

De acordo com os resultados obtidos por Alho (2012) e Baldock e Smernik (2002), é possível observar que quanto maior a temperatura final de pirólise, maior a liberação de compostos voláteis durante o processo de pirólise em si, resultando numa menor concentração de voláteis nos materiais sólidos, e uma maior quantidade de carbono fixo, ao final do processo. Para Brewer *et al.* (2009), os compostos voláteis e o teor de carbono são influenciados pelo método de pirólise.

Para os autores, a pirólise lenta proporciona menor concentração de voláteis e maior concentração de carbono fixo, quando comparada à pirólise rápida. De acordo com Maia *et al.* (2011), ocorre diminuição na concentração de hidrogênio e oxigênio e principalmente, o aumento da concentração de carbono, dados pelas reações de desidratação, descarboxilação e condensação que ocorrem durante a pirólise, sendo este efeito mais evidente, quanto maior a temperatura final de pirólise. O biocarvão produzido neste trabalho pode ser considerado de pirólise lenta, conforme definido por McCarl *et al.* (2009), uma vez que permaneceu em processo de produção durante 24 horas e apresentou temperatura final de pirólise inferior a 350°C, e por isso, os resultados de literatura citados corroboram com os obtidos neste trabalho.

TABELA 4. RELAÇÃO ATÔMICA, TEOR DE VOLÁTEIS, CINZAS E C FIXO DE BIOCARVÕES PRODUZIDOS POR DIFERENTES MATÉRIAS-PRIMAS

BIOCHAR	CONDIÇÕES	C/N	H/C	O/C	VOLÁTEIS	CINZAS	C FIXO	REF
<i>E.urophylla</i>	350° C, rampa de aquecimento de 10°C/min, pirólise por 60 minutos	964,3	0,31	0,78	42,3	0,4	57,3	1
<i>Pinus taeda</i>	350° C, rampa de aquecimento de 10°C/min, pirólise por 60 minutos	74,9	0,30	0,71	37,3	0,6	62,2	1
<i>Castanea sativa</i>	450°C, pirólise por 5 h	426,3	0,32	0,54	-	-	-	2
<i>Pinus reginosa</i>	350°C, forno tipo mufla, pirólise por 3 dias	269,2	0,24	0,72	-	0,8	-	3
<i>Quercus spp.</i>	Produzido em forno convencional (comercial)	108,8	0,36	0,48	19,7	13,9	63,8	4
Gramínea (<i>Panicum virginatum</i> L.)	350°C, forno tipo mufla, pirólise por 3 h	57,9	0,56	1,21				5
BC 100	Forno artesanal, pirólise por 24 h	244,0	0,70	0,25	14,5	15,2	70,3	

Referências: 1 – Alho (2012); 2 – Hammes *et al.* (2006); 3 – Baldock; Smernik (2002); 4 – Brewer *et al.* (2009); 5 – Sadaka *et al.* (2014).

FONTE: O autor (2014)

Especificamente, as relações H/C e O/C são usadas para medir o grau de aromaticidade e maturação do material, normalmente ilustrado através do diagrama de Van Krevelen (BALDOCK; SMERNIK, 2002; HAMMES *et al.*, 2006; ISHIMARU *et al.*, 2007). À medida que se aumentou a quantidade de biocarvão nos substratos dos

tratamentos, aumentou-se o grau de aromaticidade da matéria orgânica dos tratamentos. O tratamento testemunha (BC 0) foi o menos aromático enquanto que o tratamento BC 100 foi o mais aromático (FIGURA 2).

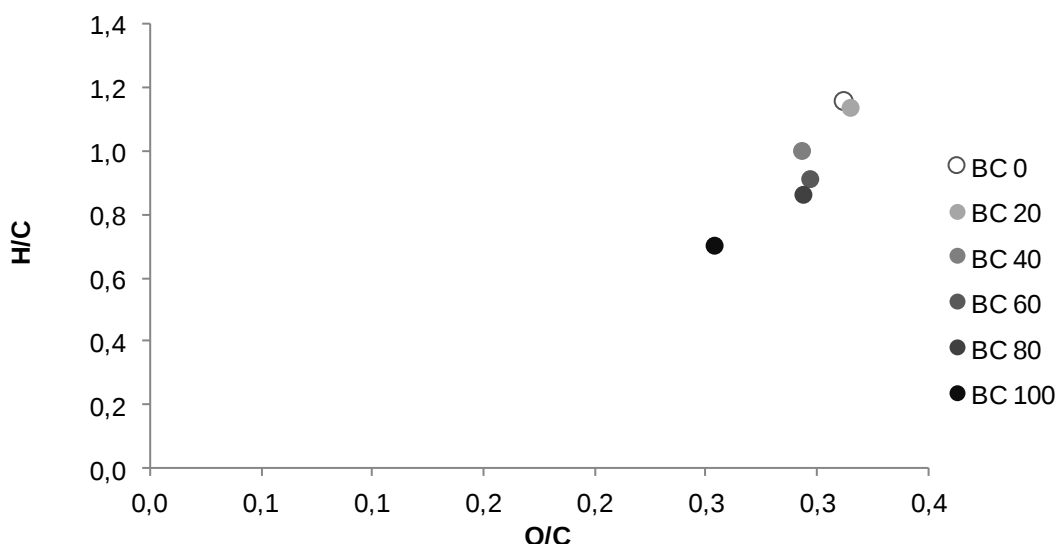


FIGURA 2. DIAGRAMA DE VAN KREVELEN PARA OS SUBSTRATOS FORMULADOS COM DIFERENTES PROPORÇÕES DE BIOCARVÃO DE SERRAGEM DE PÍNUS.

FONTE: O autor (2014)

Em termos de estrutura química, o biocarvão é comumente considerado altamente aromático e sua estrutura não depende apenas da temperatura em que foi produzido, mas também da natureza da matéria prima (KRULL *et al.*, 2009). A relação H/C mais alta indica maior alifaticidade e menor proporção de anéis aromáticos. Do mesmo modo, o incremento da relação O/C reflete o aumento da alifaticidade da matéria orgânica (SILVA; MENDONÇA, 2007).

Dessa forma, é possível afirmar que o tratamento BC 100 apresentou maior aromaticidade, devido a maior quantidade de biocarvão presente no substrato, enquanto que o tratamento testemunha (BC 0) foi o mais alifático (menos aromático). Essas estruturas aromáticas, presentes no biocarvão, além de recalcitrantes, são reativas, o que as torna importantes na manutenção da elevada, principalmente em condições quimicamente alteradas (NOVOTNY *et al.*, 2007).

A redução da relação H/C resulta em diminuição da capacidade de hidratação do material. Essas microrregiões de natureza hidrofóbica são importantes na retenção de “substâncias” apolares, como muitos pesticidas e contaminantes (SILVA; MENDONÇA *et al.*, 2007).

Desenhando um diagrama de Van Krevelen do biocarvão utilizado neste trabalho juntamente com os dados de revisão de literatura, citados anteriormente (TABELA 4), é possível observar que os biocarvões produzidos a partir de espécies lenhosas apresentam maior aromaticidade quando comparados ao biocarvão produzido a partir da gramínea (FIGURA 3).

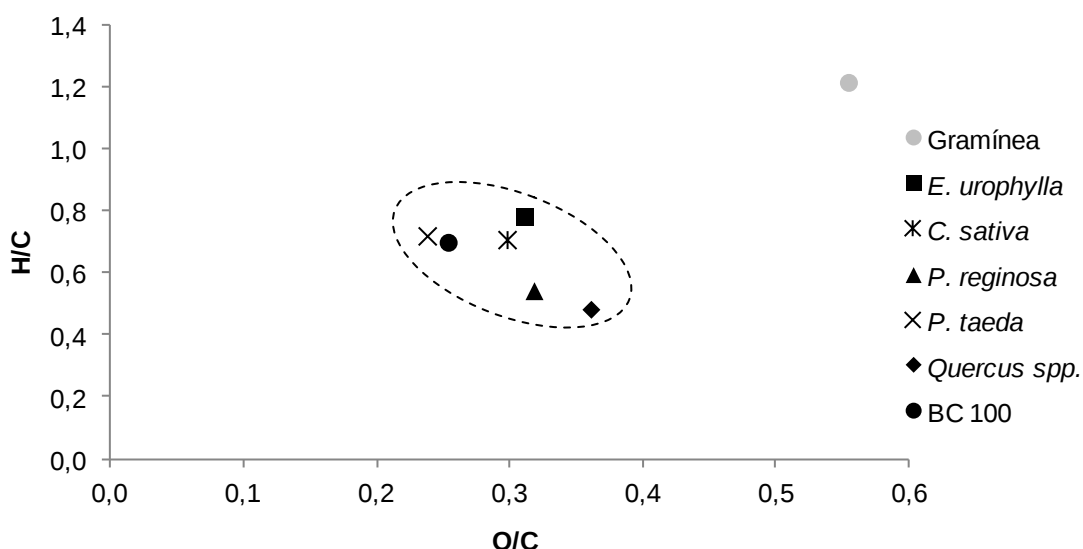


FIGURA 3. DIAGRAMA DE VAN KREVELEN PARA BIOCARVÕES PRODUZIDOS POR DIFERENTES MATÉRIAS-PRIMAS.
FONTE: O autor (2014)

O biocarvão utilizado como componente de substrato deste trabalho (BC 100) apresenta relações H/C e O/C semelhantes aos demais biocarvões produzidos a partir de madeira, observados na literatura (TABELA 4), indicando similaridade entre si quanto às suas estruturas químicas, diferentemente do biocarvão produzido a partir de uma gramínea (*Panicum virginatum* L.), que apresenta menor recalcitrância (KRULL *et al.*, 2009). As relações H/C e O/C são maiores no biocarvão de gramíneas que o biocarvão proveniente de material lenhoso, devido principalmente à menor concentração de carbono que as gramíneas apresentam quando comparado aos materiais lenhosos, mesmo antes do processo de pirólise. De acordo com Maia (2011), a lignina é o último componente a se degradar na biomassa e tem um papel importante na estrutura final do biocarvão, e por isso, a biomassa lenhosa gera um biocarvão mais resistente, áspero e com maior quantidade de carbono, do que um biocarvão originado a partir de espécies herbáceas.

Solos ricos em carbono pirogênico, além de apresentarem uma maior recalcitrância, pelo maior conteúdo de grupos arila e arila substituída, provavelmente

anéis aromáticos condensados, apresentaram um elevado conteúdo de grupos funcionais oxigenados ionizáveis e recalcitrantes (carboxila e fenila), enquanto grupos funcionais oxigenados dos solos adjacentes, pobres em carbono pirogênico, são principalmente lábeis e não ionizáveis (carboidratos, proteínas e lignina). Isso pode explicar a maior fertilidade e sustentabilidade dos solos ricos em carbono pirogênico (NOVOTNY *et al.*, 2007).

3.2 AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DAS MUDAS SEMINAIS

Na avaliação das mudas seminais, a análise estatística para parâmetros morfológicos revelou diferenças significativas para altura ($p=0,001$); diâmetro ($p=0,002$), massas secas da parte aérea ($p=0,049$), radicular ($p=0,041$) e total ($p=0,035$), aos 300 dias após a semeadura. O biocarvão não influenciou na altura das mudas após 120 ($p=0,195$) e 240 ($p=0,452$) dias de idade (TABELA 5).

TABELA 5. ALTURA (A) AOS 120 (A 120), 240 (A 240) E 300 (A 300) DIAS, DIÂMETRO (D) AOS 300 DIAS (D 300), MASSA SECA DA PARTE AÉREA (MSPA), RADICULAR (MSR) E TOTAL (MST) DAS MUDAS SEMINAIS DE PINUS PRODUZIDAS NOS SUBSTRATOS FORMULADOS COM DIFERENTES PROPORÇÕES DE BIOCARVÃO

TRATAMENTOS	A 120	A 240	A 300	D 300	MSPA	MSR	MST
	(cm)			(mm)	(g)		
BC 0	8,3	15,3	20,0 c	3,1 c	0,95 ab	0,51 b	1,45 b
BC 20	8,1	15,6	18,9 c	2,9 c	1,04 ab	0,55 ab	1,59 ab
BC 40	7,8	15,1	21,0 bc	3,2 cb	1,13 ab	0,61 ab	1,74 ab
BC 60	7,7	15,4	24,5 a	4,1 a	1,37 a	0,75 a	2,11 a
BC 80	8,0	16,1	23,3 ab	3,9 ab	1,34 ab	0,71 ab	2,05 ab
BC 100	7,6	14,5	20,5 c	3,1 c	0,93 b	0,53 ab	1,47 b
F (5,20)	1,9 ^{ns}	1,0 ^{ns}	12,1**	8,2**	4,0*	3,9*	4,4**
CV (%)	6,4	7,9	10,8	16,1	22,0	22,9	21,6

Médias seguidas por uma mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ($p>0,05$). *significativo ao nível de 95% de probabilidade pelo teste F **significativo ao nível de 99% de probabilidade pelo teste F. ^{ns} não significativo pelo teste F ($P>0,05$).

FONTE: O autor (2014)

Os tratamentos BC 60 e BC 80 apresentaram as maiores médias para a altura e diâmetro das mudas aos 300 dias após a semeadura, diferenciando estatisticamente dos demais tratamentos.

Para a massa seca da parte aérea, apesar de o tratamento BC 60 apresentar a maior média, apenas houve diferença significativa com relação ao tratamento BC 100, cuja média para a variável foi a menor entre todos os tratamentos avaliados.

A maior média da massa seca radicular também foi obtida no tratamento BC 60. Não foram observadas diferenças significativas entre o tratamento BC 60 e os demais tratamentos que continham biocarvão como componente de substrato. A menor média para a variável foi encontrada no tratamento testemunha (BC 0), diferenciando estatisticamente apenas do tratamento BC 60.

Os tratamentos em que o biocarvão foi associado ao substrato comercial (BC 20; BC 40; BC 60; BC 80) apresentaram as maiores médias para a massa seca total, não havendo diferença significativa entre si. Nos substratos em que os tratamentos foram constituídos apenas por biocarvão ou substrato comercial (BC 100 e BC 0, respectivamente), foram observadas as mais baixas médias para a massa seca total, porém houve diferença estatística apenas entre o tratamento BC 60, que apresentou a maior média para a variável.

Souchie *et al.* (2011), avaliaram o uso do carvão vegetal de *Eucalyptus sp.*, produzido em forno tipo “rabo-quente”, como condicionante de substrato na produção de mudas da espécie florestal *Tachigali vulgaris*. Os Os tratamentos foram compostos por quatro concentrações de carvão vegetal: 5; 12,5; 25 e 50% do volume total de base do substrato e uma testemunha (sem carvão). Os autores encontraram que a altura, o diâmetro de coleto e a massa seca das mudas de *T. vulgaris* aumentaram proporcionalmente com as concentrações de carvão vegetal ao substrato e seu efeito foi significativo a partir de 12,5% de concentração, contribuindo assim para a obtenção de mudas mais desenvolvidas.

Já para Petter *et al.* (2012), os melhores resultados foram obtidos no tratamento com a menor concentração de biocarvão, produzido a partir da carbonização (com temperatura variando de 200 °C na fase inicial a 500 °C) da madeira oriunda do cerrado. Os autores, avaliando cinco concentrações de biocarvão (0; 7,5; 15; 30 e 60%), adicionadas ao substrato comercial, para a produção de mudas seminais de *Eucalyptus citriodora* e *Eucalyptus urophylla*, encontraram os melhores resultados em substratos com 7,5% de biocarvão, proporcionaram melhor desenvolvimento das mudas, com destaque para *E. citriodora*. Os autores consideraram que o biocarvão contribuiu para uma maior absorção de nutrientes, principalmente em função das superfícies reativas nas bordas das estruturas aromáticas dos poros do biocarvão, atuando como um condicionador de solo.

Rezende *et al.* (2013) avaliaram a produção de mudas de *Tectona grandis* em substratos com carvão ativado e não-ativado. A partir da pirólise do pó de serra de espécies nativas do cerrado, o carvão não-ativado foi produzido em reator de pirólise a 450°C, enquanto que o biocarvão ativado foi pirolisado a 650°C com injeção de água durante o processo. Os resultados obtidos pelos autores mostraram que o tratamento com 100% de biocarvão ativado apresentou as maiores médias para todas características avaliadas (altura, diâmetro, massa seca da parte aérea, radicular e total), quando comparado aos demais tratamentos (mistura entre proporções de substrato comercial e carvão ativado ou ao carvão não-ativado). Apesar de apresentar médias inferiores que o biocarvão ativado, o tratamento com 100% de biocarvão não ativado foi superior ao tratamento testemunha (100% de substrato comercial), em todas as características avaliadas.

Conforme os resultados obtidos pelos autores acima citados, é possível verificar que os resultados foram diferentes dos apresentados neste trabalho. De forma geral, os melhores resultados deste trabalho foram obtidos nos tratamentos com 40, 60 ou 80% de biocarvão no substrato (BC 40, BC 60 e BC 80). Estes resultados foram obtidos em frações superiores às de Souchie *et al.* (2011) e Petter *et al.* (2012), e inferiores às de Rezende *et al.* (2013).

Outra consideração que deve ser feita é a respeito do processo de produção de biocarvão. Mesmo utilizando matérias primas parecidas para a produção do biocarvão (resíduos da biomassa de espécies florestais) os resultados encontrados neste trabalho e pelos autores acima citados foram diferentes. O processo de produção de biocarvão utilizado por Rezende *et al.*, (2013) foi mais tecnológico, quando durante a pirólise, houve injeção de água no biocarvão, melhorando suas propriedades físico-químicas; enquanto que a produção do biocarvão realizada por Souchie *et al.* (2011) e Petter *et al.* (2012) foi mais rudimentar, o que pode ter influenciado na qualidade do biocarvão para uso como substrato para a produção de mudas.

Vale destacar que resultados negativos também foram obtidos através da utilização do biocarvão como substrato para a produção de mudas. Lima *et al.* (2013), concluíram que a utilização de substratos com diferentes doses de esterco bovino proporcionou melhor qualidade das mudas de berinjela que os substratos com biocarvão e que o substrato comercial. Os autores ainda disseram que o biocarvão não pode ser utilizado para substituir o esterco bovino no fornecimento de

matéria orgânica fresca para o substrato. O biocarvão utilizado pelos autores foi produzido em forno convencional, com temperaturas atingindo de 200 a 500°C durante a carbonização, utilizando a madeira proveniente de espécies do cerrado como matéria-prima. Lehmann *et al.* (2002) reportaram redução no crescimento em mudas de *Inga edulis* quando foi adicionado biocarvão ao solo. Os autores ainda comentaram que apesar do biocarvão ter aumentado a disponibilidade de P e K na solução, a absorção de N e Mg pelas plantas foi diminuída.

3.3 AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DAS MUDAS CLONAIIS

Na avaliação das mudas propagadas vegetativamente, não houve diferenças significativas para o enraizamento das estacas aos 60 dias ($p=0,399$). A diferença entre os tratamentos foi notada apenas após 90 dias do estaqueamento, quando, para todas as variáveis analisadas, os tratamentos apresentaram diferenças estatísticas entre si (TABELA 6 e TABELA 7).

TABELA 6. ENRAIZAMENTO AOS 60, 90 E 150 DIAS DAS MUDAS CLONAIIS DE PINUS PRODUZIDAS NOS SUBSTRATOS FORMULADOS COM DIFERENTES PROPORÇÕES DE BIOCARVÃO

TRATAMENTOS	ENRAIZAMENTO (%)		
	60 DIAS	90 DIAS	150 DIAS
BC 0	19,0	78,1 a	91,4 ab
BC 20	17,8	73,8 a	96,4 a
BC 40	14,0	67,9 a	92,1 ab
BC 60	19,3	69,1 a	82,2 bc
BC 80	23,3	65,2 a	86,2 bc
BC 100	12,6	36,9 b	77,9 c
F (5,30)	1,1 ^{ns}	5,7**	5,7**
CV (%)	64,1	30,3	13,0

Médias seguidas por uma mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ($p>0,05$). *significativo ao nível de 95% de probabilidade pelo teste F. ^{ns} não significativo pelo teste F ($p>0,05$).

FONTE: O AUTOR (2014)

O tratamento BC 100 apresentou médias de enraizamento estatisticamente diferentes dos demais tratamentos aos 90 dias após o estaqueamento. Já aos 150 dias, o tratamento BC 20 apresentou a maior média para enraizamento, no entanto, não foi significativamente diferente aos tratamentos BC 40 e o tratamento

testemunha (BC 0). A média mais baixa para a variável foi encontrada no tratamento BC 100, diferenciando-se apenas dos três acima citados.

Andrejow e Higa (2009) avaliaram o enraizamento de estacas de *P. taeda* em substrato comercial e vermiculita. Os dados obtidos permitiram verificar que as estacas juvenis apresentaram média de enraizamento no substrato comercial superior à de vermiculita, sendo de 92,7% e 64,3%, respectivamente. Os autores atribuíram à CTC maior no substrato comercial que na vermiculita como o principal responsável para o maior enraizamento de *P. taeda*. Alcantara *et al.* (2007) encontraram enraizamento igual a 85% para mudas produzidas a partir de estacas jovens (60 dias), superior a percentagem obtida em estacas com 90, 120 e 150 dias.

Considerando os resultados obtidos neste trabalho, é possível notar que os tratamentos com 20 ou 40% de biocarvão na constituição dos substratos (BC 20 e BC 40) apresentaram médias de enraizamento superiores a 90%, valores superiores aos obtidos por Andrejow e Higa (2009) e por Alcantara *et al.* (2007).

De acordo com Thomas (2008), o biocarvão pode contribuir para o enraizamento de estacas por apresentar efeitos diretos sobre a morfogênese devido à sua adsorção irreversível de compostos inibitórios no meio de cultura e diminuindo substancialmente os metabólitos tóxicos e exsudação fenólica. O autor ainda comenta que o biocarvão apresenta uma fina rede de poros com uma grande superfície específica em que muitas substâncias podem ser adsorvidas. O autor conclui que o biocarvão está envolvido numa série de atividades estimuladoras e inibidoras incluindo a liberação de substâncias naturalmente presentes no biocarvão que promovem o crescimento e adsorção de vitaminas, íons metálicos e reguladores de crescimento de plantas.

Os clones produzidos no tratamento BC 20 apresentaram as maiores médias de altura após 150, 270 e 300 dias após o estaqueamento, seguido dos tratamentos testemunha (BC 0) e BC 40. Para as alturas avaliadas nas três diferentes idades, o tratamento apenas com biocarvão (BC 100) foi o que apresentou as menores médias (TABELA 7).

Para o diâmetro de colo, aos 330 dias após o estaqueamento, a maior média foi novamente obtida no tratamento BC 20, seguido pelo tratamento BC 40, diferenciando-se estatisticamente entre si e entre os demais tratamentos. O tratamento BC 80 apresentou a menor média para diâmetro de colo, no entanto, sem diferença significativa entre os tratamentos BC 60, BC 80 e BC 100.

TABELA 7. ALTURA AOS 150 (A 150), 270 (A 270) E 330 (A 330) DIAS, DIÂMETRO AOS 300 DIAS (D 300), MASSA SECA DA PARTE AÉREA (MSPA), RADICULAR (MSR) E TOTAL (MST) DAS MUDAS CLONAIAS DE PINUS PRODUZIDAS NOS SUBSTRATOS FORMULADOS COM DIFERENTES PROPORÇÕES DE BIOCARVÃO

TRATAMENTOS	A 150	A 270	A 330	D 330	MSPA	MSR	MST
	(cm)			(mm)	(g)		
BC 0	6,0 ab	8,7 ab	18,8 bc	4,3 c	1,91 abc	1,23 ab	3,14 ab
BC 20	6,2 a	10,1 a	23,5 a	5,3 a	2,40 a	1,47 a	3,86 a
BC 40	5,8 ab	9,3 ab	21,8 ab	4,8 b	2,18 ab	1,34 ab	3,51 ab
BC 60	5,4 ab	9,1 ab	17,8 c	4,2 c	1,73 bc	1,17 b	2,90 b
BC 80	5,3 ab	7,5 b	17,5 c	4,0 c	1,61 c	1,10 b	2,71 b
BC 100	5,1 b	7,5 b	18,1 c	4,2 c	1,66 bc	1,09 b	2,75 b
F (5,30)	3,3*	3,6*	11,6**	25,9**	6,0**	6,0**	6,5**
CV (%)	13,4	19,5	14,6	11,2	22,6	17,1	20,0

Médias seguidas por uma mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ($p>0,05$). *significativo ao nível de 95% de probabilidade pelo teste F. **significativo ao nível de 99% de probabilidade pelo teste F.

FONTE: O AUTOR (2014)

Avaliando as massas secas produzidos pelas estacas, foi observado que o tratamento BC 20 apresentou as maiores médias para massa seca da parte aérea, radicular e total, no entanto, não houve diferença estatística entre os tratamentos BC 20, BC 40 e testemunha (BC 0). As menores médias para massa seca da parte aérea e massa seca total foi proporcionada pelo tratamento BC 80, não significativamente diferente do tratamento BC 60, BC 100 e testemunha (BC 0). Para massa seca radicular, a menor média foi obtida no tratamento constituído apenas com biocarvão (BC 100), sendo diferente estatisticamente apenas do tratamento BC 20.

Estudando a utilização de biocarvão como alternativa ao uso da vermiculita na composição de substratos para a produção de mudas clonais de *Populus nigra* L. × *Populus suaveolens*, Headlee *et al.* (2014) encontraram médias para CTC, N, Ca e Mg no tratamento com 25% de biocarvão e 75% turfa, estatisticamente superiores ao tratamento testemunha (100% turfa). Apesar de não haver diferença significativa na massa seca da parte aérea produzida nas mudas do híbrido, o tratamento com 25% de biocarvão e 75% de turfa, apresentou média estatisticamente superior ao tratamento testemunha para a massa seca radicular e total. Os autores atribuíram tal diferença na massa seca radicular e total às melhores condições químicas proporcionadas pelo substrato com biocarvão.

Assim como para Headlee *et al.* (2014), o biocarvão deste trabalho pode ter proporcionado uma maior interação química entre substrato e sistema radicular, proporcionando maiores crescimentos quando se utilizou até 40% de biocarvão

como componente do substrato. Vaughn *et al.* (2013) observaram que a substituição da turfa pelo biocarvão aumentou o pH, a densidade, a condutividade elétrica dos substratos. Dumroese *et al.* (2011) avaliando o biocarvão como componente de substrato, sugeriram que o tratamento com 25% de biocarvão e 75% turfa pode ser o mais apropriado para produção de mudas em tubetes. Este tratamento proporcionou melhoria nas propriedades físicas do substrato, principalmente na condutividade hídrica e porosidade. Os autores ainda alertam que substratos com alta proporção de biocarvão (>50%), podem ser menos desejáveis na composição dos substratos, pela alta relação C/N, alta densidade e baixa capacidade de retenção de água.

Para as mudas produzidas por sementes, os melhores resultados foram obtidos nos tratamentos com 20 a 80% de biocarvão no substrato. O biocarvão pode ter contribuído para uma maior absorção de nutrientes, principalmente em função das superfícies reativas nas bordas das estruturas aromáticas dos poros do biocarvão (PETTER *et al.*, 2012). Como foram realizadas adubações de cobertura semanais, e assim, havendo a disponibilidade de nutrientes, o biocarvão presente nos substratos pode ter contribuído para a retenção e adsorção dos íons disponibilizados pelas adubações. Com isso, os nutrientes permaneceram em maior quantidade para a absorção pelas raízes, podendo então ser disponibilizados lentamente para a solução do substrato (SARKHOT *et al.*, 2012).

4 CONCLUSÕES

O tratamento com 100% de biocarvão no substrato apresenta menor teor nitrogênio e maior teor de carbono; e as menores relações H/C e O/C, indicando ser mais aromático que os demais tratamentos avaliados. O tratamento testemunha, sem a utilização de biocarvão, apresenta maior teor nitrogênio e menor teor de carbono; e as maiores relações H/C e O/C, indicando menor aromaticidade entre os tratamentos avaliados.

Na produção de mudas por estacas, a utilização de 20% de biocarvão na composição do substrato proporcionou os melhores resultados avaliados nas mudas *P. taeda*. Enquanto que para a produção de mudas seminais da espécie, os melhores resultados foram obtidos quando foi utilizado 60% de biocarvão como componente do substrato. O tratamento testemunha, apenas com a utilização de substrato comercial, apresentou resultados semelhantes quanto à produção de mudas por estacas; e inferiores quanto à produção de mudas por sementes.

REFERÊNCIAS

- ALCANTARA, G. B.; RIBAS, L. L. F.; HIGA, A. R. RIBAS, K. C. Z. KOEHLER, H. S. Efeito da idade da muda e da estação do ano no enraizamento de miniestacas de *Pinus taeda* L. **Árvore**, Viçosa, MG, v.31, n.3, p.399-404, 2007.
- ALHO, C. F. B. V. **Efeito da temperatura final de pirólise na estabilidade de biocarvão produzido a partir de madeira de *Pinus* sp. e *Eucalyptus* sp.** 58f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais e Florestais). Seropédica, Rio de Janeiro, 2012.
- ANDREJOW, G. M. P. **Minijardim clonal de *Pinus taeda* L.** 103 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Paraná, 2006.
- ANDREJOW, G. M. P.; HIGA, A. R. Potencial de enraizamento de miniestacas de *Pinus taeda* L. provenientes de brotação apical de mudas jovens. **Floresta**, Curitiba, v. 39, n. 4, p. 897-903, 2009.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS - ABRAF. **Anuário Estatístico da ABRAF 2013**: ano base 2012. Brasília, DF: ABRAF, 142 p. Disponível em: <http://www.abraflor.org.br/estatisticas.asp>. Acesso em: 02 nov. 2013.
- ATKINSON, C. J.; FITZGERALD, J. D.; HIPPS, N. A. Potential mechanisms for achieving agricultural benefits from biochar application to temperate soils: a review. **Plant Soil**, v. 337, p. 1–18, 2010.
- BALDOCK, J. A.; SMERNIK, R. J. Chemical composition and bioavailability of thermally altered *Pinus resinosa* (red pine) wood. **Organic Geochemistry**, v. 33, p. 1093–1109, 2002.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para análise de sementes**. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. Brasília, DF: Mapa/ACS, 2009. 395p.
- BREWER, C. E.; SCHMIDT-ROHR, K.; SATRIO, J. A.; BROWN, R. C. Characterization of biochar from fast pyrolysis and gasification systems. **Environmental Progress & Sustainable Energy**, v. 28, n. 3, p. 386-396, 2009.
- CARNEIRO, J. G. A. **Produção e controle de qualidade de mudas florestais**. Curitiba: UFPR/FUPEF, 1995. 451 p.

DUMROESE, R. K.; HEISKANEN, J.; ENGLUND, K. TERVAHAUTA, A. Pelleted biochar: Chemical and physical properties show potential use as a substrate in container nurseries. **Biomass and Bioenergy**, v. 35, p. 2018-2027, 2011.

HAMANN, A. Adventitious root formation in cuttings of loblolly pine (*Pinus taeda* L.): developmental sequence and effects of maturation. **Trees**, v. 12, p. 175-180, 1998.

HAMMES, K.; SMERNIK, R. J.; SKJEMSTAD, J. O.; HERZOG, A.; VOGT, U. F.; SCHMIDT, M. W. I. Synthesis and characterisation of laboratory-charred grass straw (*Oryza sativa*) and chestnut wood (*Castanea sativa*) as reference materials for black carbon quantification. **Organic Geochemistry**, v. 37, p. 1629–1633, 2006.

HEADLEE; W. L.; BREWER, C. E.; HALL, R. B. Biochar as a substitute for vermiculite in potting mix for hybrid poplar. **Bioenergy Resources**. v. 7, p. 120–131, 2014.

IPPUC - Instituto de Pesquisa e Planejamento Urbano de Curitiba. Curitiba em dados. Disponível em:

<http://www.ippuc.org.br/Bancodedados/Curitibaemdados/Curitiba_em_dados_Pesquisa.asp?ampliar=n%E3o>.

Acesso em: 15 Ago. 2012.

IRISH STANDARD CEN/TS 14775. **Solid biofuels - Method for the determination of ash content**. European Committee for Standardization, Brussels, 2004. 12 p.

IRISH STANDARD EN 15148. **Solid biofuels - determination of the content of volatile matter**. European Committee for Standardization, Brussels, 2009. 15 p.

ISHIMARU, K.; HATA, T.; BRONSVELD, P.; MEIER, D.; IMAMURA, Y. Spectroscopic analysis of carbonization behavior of wood, cellulose and lignin. **Journal of Materials Science**, v. 42, p. 122-129, 2007.

JOSEPH, S. PEACOCKE, C.; LEHMANN, J.; MUNROE, P. Developing a biochar classification and test methods. In: LEHMANN, J.; JOSEPH, S. (Eds). **Biochar for Environmental Management: Science and Technology**, London: Earthscan, 2009. p. 109–126.

KARHU, K.; MATTILA, T.; BERGSTROM, I.; REGINA, K. Biochar addition to agricultural soil increased CH₄ uptake and water holding capacity – results from a short-term pilot field study. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 140, p. 309–313, 2011.

KOOKANA, R. S.; SARMAH, A. K.; VAN ZWIETEN, L.; KRULL, E.; SINGH, B. Biochar application to soil: agronomic and environment benefits and unintended consequences. **Advances in Agronomy**, n. 112, p. 103-143, 2011.

KRULL, E. S.; BALDOCK, J. A.; SKJEMSTAD, J. O.; SMERNIK, R. J. Introduction Characteristics of Biochar: Organo-chemical Properties. In: LEHMANN, J.; JOSEPH, S. (Eds). **Biochar for Environmental Management: Science and Technology**. London: Earthscan, 2009. p. 53–65.

LEHMANN, J.; GAUNT, J.; RONDON, M. Bio-char sequestration in terrestrial ecosystems e a review. **Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change**, v. 11, p. 395-419, 2006.

LEHMANN, J.; JOSEPH, S. Biochar for Environmental Management: An Introduction. In: LEHMANN, J.; JOSEPH, S. (Eds). **Biochar for Environmental Management: Science and Technology**. London: Earthscan, 2009. p. 1-12.

LEHMANN, J.; SILVA JUNIOR, J. P.; RONDON, M.; CRAVO, M. S.; GREENWOOD, J.; NEHLS, T.; STEINER, C.; GLASER, B. Slash and char: A feasible alternative for soil fertility management in the central Amazon? **Proceedings... 17th World Congress of Soil Science**, Bangkok, Thailand, 2002.

LIMA, S. L.; MARIMON JUNIOR, B. H.; PETTER, F. A.; TAMIOZZO, S.; BUCK, G. B.; MARIMON, B. S. Biochar as substitute for organic matter in the composition of substrates for seedlings. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 35, n. 3, p. 333-341, 2013.

MADARI, B. E.; PETTER, F. A.; CARVALHO, M. T. M.; MACHADO, D. M.; SILVA, O. M.; FREITAS, F. C.; OTONI, R. F. **Biomassa carbonizada como condicionante de solo para a cultura do arroz de terras altas, em solo arenoso, no Cerrado: efeito imediato para a fertilidade do solo e produtividade das plantas**. Comunicado Técnico 197, Embrapa Arroz e Feijão, Goiânia, 2010, 8 p.

MAIA, C. M. B. F. Produção de biocarvão a partir de diferentes fontes de biomassa. **IX Encontro Brasileiro de Substâncias Húmicas**. Embrapa Arroz e Feijão, Aracaju, Sergipe, 2011.

MAJOR, J.; RONDON, M.; MOLINA, D.; RIHA, S.; LEHMANN, J. Maize yield and nutrition during 4 years after biochar application to a Colombian savanna oxisol. **Plant Soil**, v. 333, p. 117–128, 2010.

MCCARL, B. A., PEACOCKE, C.; CHRISMAN, R.; KUNG, C.; SANDS, R. D. Economics of biochar production, utilisation and gas offsets In: LEHMANN, J.; JOSEPH, S. (Eds). **Biochar for Environmental Management: Science and Technology**. London: Earthscan, 2009. p. 341-356.

NOVOTNY, E. H.; HAYES, M. H. B.; MADARI, B. E.; BONAGAMBA, T. J.; AZEVEDO, E. R. de; SOUZA, A. A. de; SONG, G.; NOGUEIRA, C. M.; MANGRICH, A. S. Lessons from the Terra Preta de Índios of the Amazon Region for the utilization of Charcoal for Soil Amendment. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, Campinas, v. 20, n. 6, p. 1003-1010, 2009.

NOVOTNY, E. H.; AZEVEDO, E. R. de; BONAGAMBA, T. J.; CUNHA, T. J.; MADARI, B. E.; BENITES, V. M.; HAYES, M. H. B. Studies of the Compositions of Humic Acids from Amazonian Dark Earth Soils. **Environmental Science and Technology**, v. 41 p. 400-405, 2007.

PETTER, F. A.; ANDRADE, F. R.; MARIMON JUNIOR, B. M.; GONÇALVES, L. G.; SCHOSSLER, T. R. Biochar como condicionador de substrato para a produção de mudas de eucalipto. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 25, n. 4, p. 44-51, 2012.

REZENDE, F. A.; SANTOS, V. A. H. F.; MAIA, C. M. B. F.; ROSALINO, T. Formação de mudas de teca (*Tectona grandis* L. f.) a partir de substrato composto com biocarvão. **Encontro Brasileiro de Substâncias Húmicas**. Embrapa Arroz e Feijão, Goiânia, Goiás, p. 332-335, 2013.

SARKHOT, D. V.; D. V.; BERHE, A. A.; GHEZZEHEI, T. A. Impact of Biochar Enriched with Dairy Manure Effluent on Carbon and Nitrogen Dynamics. **Journal of Environmental Quality**, Special Submissions, v. 41, 2012.

SILVA, I. R.; MENDONÇA, E. S. Matéria orgânica do solo. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V., V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 275-374.

SOHI, S. P.; KRULL, E.; LOPEZ-CAPEL, E.; BOL, R. A review of biochar and its use and function in soil. **Advances in Agronomy**, v.105, p. 47–82, 2010.

SOUCHIE, F. F.; MARIMON JUNIOR, B. H.; PETTER, F. A.; MADARI, B. E.; MARIMON, B. S.; LENZA, E. Carvão pirogênico como condicionante para substrato de mudas de *Tachigali vulgaris* L.G. Silva & H.C. Lima. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 21, n. 4, p. 811-821, 2011.

THOMAS, T. D. The role of activated charcoal in plant tissue culture. **Biotechnology advances**. v. 26, n. 6, p. 618-631, 2008.

VALERI, S. V.; CORRADINI, L. Fertilização em viveiro para produção de mudas de Eucaliptus e Pinus. In: GONÇALVES, J. L. M.; BENEDETTI, V. (Eds). **Nutrição e fertilização florestal**. Piracicaba: IPEF, 2000. p.168-190.

VAUGHM; S. F.; KENAR, J. A.; THOMPSON; A. A.; PETERSON, S. C. Comparison of biochars derived from wood pellets and pelletized wheat straw as replacements for peat in potting substrates. **Industrial Crops and Products**, v. 51, p. 437-443, 2013.

WARNOCK, D. D.; LEHMANN, J.; KUYPER, T. W.; RILLIG, M. C. Mycorrhizal responses to biochar in soil e concepts and mechanisms. **Plant Soil**, v. 300, p. 9-20, 2007.

YUAN, J. H.; XU, R. K. The amelioration effects of low temperature biochar generated from nine crop residues on an acidic ultisol. **Soil Use and Management**, v.27, p. 110–115, 2011.

DIFERENTES GRANULOMETRIAS E DOSES DE BIOCARVÃO DE CAVACOS DE PINUS NO CRESCIMENTO INICIAL DE *Pinus taeda* L.

RESUMO

A manutenção da fertilidade do solo torna-se cada vez mais difícil de ser contornada por métodos convencionais, sendo necessária a utilização de novas estratégias que garantam a sustentabilidade da produtividade florestal. A produtividade de plantios de *Pinus taeda* no Brasil pode estar comprometida pela diminuição dos ciclos de corte, as sucessivas rotações e a ausência de adubações periódicas. O objetivo deste trabalho foi avaliar a utilização do biocarvão, em quantidade de aplicação e classes granulométricas, como condicionador de solo em plantios de *Pinus taeda*. O biocarvão utilizado na composição dos tratamentos foi produzido em forno artesanal a partir de cavacos de resíduos colheita florestal de povoamentos de *Pinus* sp, e sua utilização foi avaliada em dois experimentos: em viveiro e em campo. Em viveiro, o biocarvão foi peneirado em diferentes classes granulométricas, constituindo quatro diferentes tratamentos: 0 – 2 mm; 2 – 15 mm; 15 – 25 mm e 25 – 40 mm, misturados com solo em três diferentes doses, equivalentes a 3, 6 e 12 t ha⁻¹, e usado como substrato em vasos de 8 dm³. Em campo, foram instalados sete tratamentos, cinco com a aplicação de doses crescentes de biocarvão no solo: 2, 4, 6, 8 e 10 t ha⁻¹ (T2, T4, T6, T8 e T10, respectivamente) e dois tratamentos testemunhas, sem a adição de biocarvão no solo (T0) e com a aplicação de NPK (2-18-18), também sem biocarvão (T_{NPK}). Após 12 meses da adição do biocarvão, os resultados mostraram que o biocarvão contribuiu para o aumento do pH, diminuiu os teores de Al e os índices de acidez trocável e saturação por Al, aumentou os teores disponíveis de Ca, Mg, K e P e aumentou os índices de saturação por bases e soma de bases, no substrato em viveiro. Não houve influência significativa das granulometrias avaliadas ou doses aplicadas nos substratos para o crescimento de *Pinus taeda*, em viveiro. O aumento das doses de biocarvão proporcionou aumento na recalcitrância dos solos. As doses aplicadas de biocarvão foram mais correlacionadas com a qualidade química do solo que as classes granulométricas utilizadas, após 12 meses de avaliação em viveiro. Em campo, os resultados obtidos 30 meses após a aplicação do biocarvão mostraram que o biocarvão melhorou as propriedades químicas do solo em campo, principalmente tratando-se do pH, acidez trocável, saturação por bases e teores de K e P. Após 30 meses em campo, o crescimento volumétrico das árvores de *P. taeda* foi afetado positivamente (p=0,18) pela utilização do biocarvão como condicionador de solo.

Palavras-chave: carvão pirogênico, carbono, pirólise.

DIFFERENT PARTICLE SIZES AND AMOUNTS OF PINUS CHIP BIOCHAR IN *Pinus taeda* L. INITIAL GROWTH

ABSTRACT

The maintenance of soil fertility becomes increasingly difficult to be overcome by conventional methods, the use of new strategies to ensure the sustainability of forest productivity is required. The productivity of *Pinus taeda* in Brazil might be compromised by decreasing in rotations cycles, successive rotations and the absence of periodic fertilization. The aim of this study was to evaluate the use of biochar in different amounts and particle size, as soil conditioner to *P. taeda*. The biochar used in the treatments was produced by a handmade oven from forest harvesting residues of *Pinus* sp. chips, and its use was evaluated in two experiments: in the nursery and in the field. In nursery, biochar was sieved in different particle size fractions, creating four different treatments: 0-2 mm; 2 - 15 mm; 15-25 mm 25 - 40 mm, mixed with the soil in three different doses, equivalent to 3, 6 and 12 t ha⁻¹ and used as substrate in 8 dm³ pots. In the field experiment, seven treatments, five by application of increasing amounts of biochar in soil were installed: 2, 4, 6, 8 and 10 t ha⁻¹ (T2, T4, T6, T8 e T10, respectively), and two control treatments, without biochar addition in the soil (T0) and with the application of NPK (2-18-18), also without biochar (T_{NPK}). After 12 months, the results showed that biochar contributed to increase pH, decrease the levels of Al and exchangeable acidity and Al saturation, increase the availability of Ca, Mg, K and P and increase levels of base saturation and sum of bases, as a substrate at forest nursery. There were no significant influence of the particle size evaluated and amount applied in the substrate to *P. taeda* growth of in the pot experiment. Increasing amounts of biochar resulted in higher recalcitrance of soils. The amount of biochar was more correlated with the soil chemical quality than particle size, after 12 months of evaluation in the forest nursery experiment. In the field, the results obtained 30 months after biochar application showed that biochar improved the soil properties, especially concerning the pH, exchangeable acidity, base saturation, and K and P. After 30 months of biochar application, the volumetric growth of *P. taeda* trees was positively affected (p=0,18) by the use of biochar as a soil conditioner.

Keywords: pyrogenic carbon, carbon, pyrolysis.

1 INTRODUÇÃO

Em 2012, as plantações com espécies do gênero *Pinus* no Brasil ultrapassavam 1,5 milhões de hectares, tendo a Região Sul como a grande maioria (85%) das plantações do gênero no país (ABRAF, 2013). Com a diminuição dos ciclos de corte e após sucessivas rotações, a manutenção da produtividade florestal de *Pinus* torna-se cada vez mais difícil de ser contornada.

Apesar de ser uma prática comum em plantios florestais, a adubação em povoamentos de *Pinus* não é normalmente realizada. Razões como altas taxas de crescimento e ausência nos sintomas de deficiência nutricional podem ser a resposta para que a adubação não seja uma prática comum para o gênero (REISSMANN e WISNIEWSKY, 2004). Entretanto, com sucessivas rotações, a exportação de nutrientes através da remoção da biomassa vem causando um balanço nutricional negativo (WITSCHORECK, 2008). Necessitando desta forma a reposição de nutrientes para a manutenção da fertilidade do solo e da produtividade florestal.

A técnica de carbonizar resíduos orgânicos vem sendo resgatada e avaliada como alternativa para melhorar a fertilidade do solo. O produto gerado através da decomposição térmica e controlada do material, conhecido como biocarvão, parece contribuir para a manutenção e aumento da fertilidade do solo, sendo comumente mencionado por apresentar características semelhantes à “Terra Preta de Índio” (LEHMANN; JOSEPH, 2009; VERHEIJEN *et al.*, 2010).

Os tipos e as interações entre biocarvão e solo dependem de alguns fatores, como a composição química da matéria prima que produz o biocarvão; as condições do processo de pirólise; granulometria e sistema de aplicação do biocarvão; e as condições edafoclimáticas do local de aplicação (JOSEPH *et al.*, 2010).

Ainda são limitadas as informações sobre os efeitos do tamanho das partículas e da quantidade de biocarvão que deve ser aplicado no que diz respeito à obtenção das melhores respostas para manutenção e aumento da fertilidade do solo. O tamanho das partículas de biocarvão podem não desempenhar um papel primordial para a melhoria da fertilidade do solo e por isso, a granulometria pode ser escolhida em função da facilidade de aplicação no solo e dos custos envolvidos no processo de produção do biocarvão (BLACKWELL *et al.*, 2009). Por um lado, pode-

se argumentar que menores partículas aumentam a eficiência na interação com o solo devido à maior superfície de contato, por outro lado, a maior porosidade de partículas maiores pode fazer da granulometria um parâmetro redundante (JOSEPH *et al.*, 2009).

Quanto à quantidade ideal que deve ser aplicada nos solos, Jeffery *et al.*, (2011) analisaram, através da revisão literária e análise estatística diferenciada, que aplicações em doses de 10, 25, 40 e 100 t ha⁻¹, sempre produziram aumento na produtividade agrônômica, quando comparadas ao tratamento controle, sem a aplicação de biocarvão. No entanto, os autores observaram ainda que a aplicação de biocarvão em doses entre 40 e 65 t ha⁻¹ não se mostraram significativas para a produtividade agrícola, comparando-as ao tratamento controle.

Tentando buscar respostas sobre a quantidade e o tamanho das partículas de biocarvão ideal a ser aplicado no solo, este trabalho foi dividido em dois experimentos cujo objetivo foi avaliar a qualidade do solo e o crescimento de *Pinus taeda* em solos incorporados com quatro classes granulométricas distribuídas em diferentes doses de biocarvão, em viveiro florestal; e também a avaliação do crescimento de um plantio em campo de *Pinus taeda* em um período de trinta meses após a aplicação de doses crescentes de biocarvão.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 PRODUÇÃO DO BIOCARVÃO

O biocarvão utilizado na composição dos tratamentos foi produzido a partir de cavacos provenientes de resíduos colheita florestal de povoamentos de *Pinus* sp. da Battistella Florestal. O forno para a pirólise do material foi construído a partir de um tanque de aço com aproximadamente 2300 litros, utilizado anteriormente para combate a incêndios florestais, cujas dimensões foram 243 cm de comprimento e 105 cm de diâmetro (FIGURA 4). O tanque era fixo à uma carreta com dois pneus e base de aço a uma altura de 70 cm do solo. Três chaminés, com 45 cm de altura e 11 cm de diâmetro, foram instaladas na superfície superior do tanque, uma em cada extremidade horizontal e outra no centro (entre ambas). Duas portas retangulares, de 30 x 50 cm, foram feitas na superfície superior do tanque e foram utilizadas para preenchimento do forno com os cavacos. Uma das laterais do tanque foi removida e acoplada novamente ao tanque, constituindo então uma porta circular (de 105 cm de diâmetro) de abertura no sentido vertical, onde o biocarvão produzido era retirado após a pirólise. O forno foi construído na oficina mecânica da Battistella Florestal (latitude 26°14'48.0"S e longitude 49°35'01.5"W) e a pirólise do biocarvão foi conduzida em área próxima ao viveiro florestal (latitude 26°15'56.8"S e longitude 49°35'03.4"W) da empresa, ambos localizados no município de Rio Negrinho, SC.

Para a produção do biocarvão, cerca de 1200-1500 litros dos cavacos de pínus, secos ao ar, foram introduzidos no forno. O início da combustão aconteceu na parte superior da "cama" de cavacos, e a queima do material se deu no sentido superior para o inferior da "cama". Após aproximadamente 24 horas do início de processo, o forno foi aberto e o material foi retirado do interior do forno. Imediatamente, o biocarvão foi molhado com auxílio de regador até o fim do processo da queima. O rendimento da produção foi de 22% (v/v).



FIGURA 4. FORNO DE PIRÓLISE PARA A PRODUÇÃO DE BIOCARVÃO DE CAVACOS DE PINUS
FONTE: O autor (2014).

A temperatura atingida durante o processo de produção do biocarvão foi medida através de um termômetro digital Salcasterm 1200 K e uma sonda de imersão tipo K, com 6 mm de diâmetro e 50 cm de comprimento, e rabicho com capacidade 4 m de extensão ao termômetro. A sonda foi inserida através de umas das portas superiores a uma profundidade de aproximadamente 10 cm da “cama” da cavacos no interior do forno, durante a pirólise. A temperatura foi medida no termômetro à aproximadamente 3 m de distância do forno, de onde foi acompanhado o aumento e a diminuição da temperatura durante a pirólise. A temperatura máxima atingida registrada durante o processo de produção do biocarvão foi 349°C.

Para a avaliação da utilização do biocarvão dos cavacos dos resíduos da colheita de pinus foram realizados dois experimentos: um instalado em campo e outro em viveiro.

2.2 EXPERIMENTO EM VIVEIRO

O experimento foi realizado no Viveiro Florestal do Laboratório de Melhoramento Florestal (LAMEF) da Universidade Federal do Paraná, em Curitiba

(latitude 25°26'51.2"S e longitude 49°14'10.8"W), durante outubro de 2012 a outubro de 2013. Pela classificação de Koeppen, Curitiba localiza-se em região climática do tipo Cfb, com clima temperado (ou subtropical) úmido, mesotérmico, sem estação seca, com verões frescos e invernos com geadas (IPPUC, 2012).

O biocarvão foi peneirado em diferentes classes granulométricas, constituindo quatro diferentes tratamentos: 0 – 2 mm (G1); 2 – 15 mm (G2); 15 – 25 mm (G3) e 25 – 40 mm (G4). A distribuição percentual das classes foi igual a 10, 41, 20 e 15% nas classes G1, G2, G3 e G4, respectivamente.

As diferentes classes granulométricas do biocarvão foram misturadas com solo em três diferentes doses, equivalentes a 3, 6 e 12 t ha⁻¹ (D1, D2 e D3, respectivamente). O cálculo foi baseado na aplicação em cova de 40 x 40 x 40 cm³ para um plantio de 2000 plantas por ha. O solo foi coletado em um horizonte A de um Cambissolo Háplico (EMBRAPA, 2006) na área experimental do LAMEF. O solo foi seco ao seco e peneirado em malha de 2 mm antes de ser misturado aos tratamentos. Os tratamentos foram delineados em blocos casualizados (4x3+1), em esquema com dois fatores (doses x granulometria), e um tratamento testemunha formulado apenas com solo (sem adição de biocarvão), com quatro repetições por tratamento.

Os tratamentos foram acondicionados em vasos plásticos e cilíndricos com capacidade volumétrica de aproximadamente oito litros, que permaneceram em área de rustificação do viveiro florestal do LAMEF por 12 meses. A área de rustificação dispunha de sistema de irrigação por microaspersão, realizando-se irrigação duas vezes ao dia (09h00 min e 15h00 min), aumentando a lâmina de irrigação sempre que se verificava déficit hídrico.

Com os vasos preenchidos com seus respectivos tratamentos, foram plantadas mudas seminais de *Pinus taeda*, consideradas aptas ao plantio, de sementes provenientes do pomar clonal da Battistella Florestal, em Rio Negrinho, SC. As mudas permanecem em área de rustificação durante sete meses, momento em que as raízes começaram a tocar na base do vaso.

Amostras de solo foram coletadas após 12 meses da aplicação do biocarvão. Para a coleta foi utilizado um cano tipo PVC com diâmetro de 5 cm que foi inserido em toda a profundidade do solo no vaso.

As análises de composição elementar e da quantidade de cinzas, material volátil e carbono fixo dos tratamentos foram determinados nos laboratórios do

Departamento de Química e Ciências Ambientais da Universidade de Limerick, Irlanda. Os teores de carbono, nitrogênio, hidrogênio e enxofre dos substratos foram determinados via combustão a 1100 °C usando analisador elementar CHNS/O analyzer (Elementar Vario LE Cube). O oxigênio foi determinando por diferença. A quantidade de material volátil foi determinada através da queima do material a 900°C durante 7 minutos em mufla hermeticamente fechada (I.S. EN 15148, 2009). O teor de cinzas foi obtido através da queima do substrato a 250°C por 60 minutos, e a 550°C por 120 minutos. A rampa de aquecimento utilizada foi de 5°C por minuto (I. S. CEN/TS 14775, 2004). O carbono fixo foi determinado por diferença, utilizando-se a soma do material volátil e o teor de cinzas. Todas as análises foram realizadas em pelos menos três repetições.

Com a análise elementar, foi possível estimar as perdas de C pelo solo aos doze meses após a aplicação do biocarvão. A estimativa foi calculada em função do teor de C presente no biocarvão aplicado, das doses aplicadas e do teor de C no solo testemunha.

Também foram realizadas análises químicas dos solos de cada tratamento: teores de Ca, Mg, K, P e Al, e os valores de acidez trocável (H+Al), capacidade de troca de cátions a pH 7 (T), saturação por Al (m%) e por bases (V%) e a soma de bases (SB). Estas análises foram realizadas no Laboratório de Fertilidade do Solo da Universidade Federal do Paraná.

2.3 EXPERIMENTO EM CAMPO

Para avaliação da influência da quantidade de biocarvão para o plantio de um povoamento de *Pinus taeda*, foram realizados sete tratamentos, onde cinco destes consideraram a aplicação de doses crescentes de biocarvão no solo: 2, 4, 6, 8 e 10 t ha⁻¹ (T2, T4, T6, T8 e T10, respectivamente) e dois tratamentos testemunhas, sem a adição de biocarvão no solo (T0) e com a aplicação de NPK, também sem biocarvão (T_{NPK}). O biocarvão foi aplicado em covas de 40 x 40 x 40 cm³, e as doses foram calculadas em função de 2000 plantas por hectare, devido ao espaçamento 3 x 1,7 m² ser o mais utilizado pela Batistella Florestal. O NPK, aplicado em 100 g por cova de plantio, foi utilizado com a formulação 2-18-18, devido ao fato de que P₂O₅ e K₂O

serem os componentes que podem influenciar no crescimento de povoamentos de *Pinus taeda* (TIARKS; HAYWOOD, 1985; VOGEL *et al.*, 2005).

Os tratamentos foram instalados em delineamento em bloco casualizados, em quatro blocos, com 30 plantas por parcela, localizados em dois sítios consideradas pouco produtivos pela empresa: Fazenda Rio Feio (latitude 26°30'13.4"S e longitude 49°32'04.0"W) e Fazenda Valério (latitude 26°13'32.8"S e longitude 49°34'59.0"W). Na TABELA 8 e na TABELA 9 é possível observar as características físicas e químicas do solo nas duas fazendas antes da instalação experimento.

TABELA 8. ANÁLISES QUÍMICAS DOS SOLOS DAS FAZENDAS RIO FEIO E VALÉRIO ANTES DA IMPLANTAÇÃO DO EXPERIMENTO

PROFUNDIDADE	pH	Ca	Mg	Al	H+Al	CTC _e	T	K	P	Cu	Fe	Mn	m	V
	CaCl ₂	cmol _c dm ⁻³						mg dm ⁻³				%		
Fazenda Rio Feio														
0-20 cm	3,8	0,3	0,3	8,5	38,6	9,2	39,4	0,1	4,1	0,5	261	3,6	92	2
20-40 cm	4,0	0,3	0,2	6,9	27,4	7,4	27,9	0,1	2,1	0,3	123	2,6	93	2
Fazenda Valério														
0-20 cm	3,9	0,4	0,3	3,3	15,0	4,2	15,9	0,2	3,0	0,5	193	3,7	78	6
20-40 cm	4,0	0,4	0,3	2,8	12,1	3,6	12,9	0,1	1,0	0,5	87	4,8	78	6

CTC_e – capacidade de troca de cátions efetiva; T – capacidade de troca de cátions a pH 7; H+Al – acidez trocável; m – saturação por al; V – saturação por bases.

FONTE: O autor (2014).

TABELA 9. ANÁLISES FÍSICAS DOS SOLOS DAS FAZENDAS RIO FEIO E VALÉRIO ANTES DA IMPLANTAÇÃO DO EXPERIMENTO

PROFUNDIDADE	Argila (g kg ⁻¹)	Slte (g kg ⁻¹)	Areia (g kg ⁻¹)
Fazenda Rio Feio			
0-20 cm	125	375	500
20-40 cm	110	380	510
Fazenda Valério			
0-20 cm	325	175	500
20-40 cm	292	188	520

FONTE: O autor (2014).

As mudas foram avaliadas quanto à sobrevivência um mês após o plantio, quanto ao crescimento em altura, diâmetro 12 e 30 meses de idade, e quanto ao volume individual e por hectare aos 30 meses após a instalação do experimento. A altura total e diâmetro de colo foram medidos com auxílio de régua e paquímetro, o volume individual foi calculado através do cálculo da área do cone (MACHADO; FIGUEIREDO FILHO, 2009), e o volume por hectare foi estimado em função da sobrevivência aos 30 meses para um plantio de 2000 plantas por hectare. Os sítios localizam-se no Primeiro Planalto Catarinense, cujo clima é do tipo Cfb, com

precipitação anual média de 1.734 mm e temperatura anual média de 18°C, temperatura máxima média de 23°C e mínima média de 13°C, com ocorrência de até 10 geadas por ano (EPAGRI, 2009, não publicado)¹.

Foram coletadas amostras de solo dos tratamentos testemunhas (T0 e T_{NPK}) e do tratamento T10, a uma profundidade de 15 cm, após 30 meses da instalação do experimento, em dois dos sítios implantados, que compreendiam quatro repetições do experimento: Fazenda Rio Feio e Fazenda Valério. As análises de solo dos teores de Ca, Mg, K, P, Cu, Fe, Mn e Al, e os valores de acidez trocável (H+Al), capacidade de troca de cátions efetiva (CTC_e) e a CTC a pH 7 (T), saturação por Al (m%) e por bases (V%) dos solos amostrados foram realizadas no Laboratório de Análise de Solo da Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC.

2.4 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

No experimento em viveiro, em que foi avaliada a interação de dois fatores (granulometria x dose), sendo o fator granulometria considerado uma variável categórica e ordinal, optou-se por avaliar as médias das análises elementares, das relações atômicas e do crescimento das mudas nos vasos por análise de variância (teste F) e posterior teste de Tukey, ao nível de 95% de probabilidade. Também foi realizada uma análise de correlação de Pearson (r) dos resultados obtidos nas variáveis químicas do solo com as diferentes granulometrias ou com as diferentes doses aplicadas. Para os cálculos da correlação de Pearson das variáveis químicas com os fatores deste experimento, foram utilizados os centros de cada classe granulométrica, ou valores referentes de cada dose aplicada.

No experimento de campo, onde foram aplicadas doses crescentes de biocarvão no solo, aplicou-se análise de regressão para avaliar as variáveis de crescimento (altura, diâmetro, volume individual e volume por hectare) aos 12 e aos 30 meses após a instalação do experimento.

As análises estatísticas foram realizadas com auxílio do software SPSS IBM Statistics ® e Microsoft Excel 2010 ®.

¹ EMPRESA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA E EXTENSÃO RURAL DE SANTA CATARINA – EPAGRI, Estação Meteorológica de Rio Negrinho – Santa Catarina, 2009. Não publicado.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 EXPERIMENTO EM VIVEIRO

3.1.1 Avaliação das propriedades químicas do solo

A análise química dos tratamentos com a adição do biocarvão nas quatro granulometrias e nas três doses mostrou que o biocarvão parece contribuir para o aumento da fertilidade no solo. Isso foi principalmente visto com o aumento das quantidades na aplicação do biocarvão e quando aplicado em menores granulometrias (TABELA 10).

TABELA 10. ANÁLISE QUÍMICA DOS SOLOS INCORPORADOS COM DE BIOCARVÃO EM DIFERENTES CLASSES GRANULOMÉTRICAS E DOSES, APÓS 12 MESES DA APLICAÇÃO DO BIOCARVÃO

GRANULOMETRIA (mm)	pH CaCl ₂	Al	H+Al	Ca	Mg	K	SB	T	P mg dm ⁻³	V %	m
		cmol _c dm ⁻³									
0 BC	4,1	5,6	16,6	2,4	1,6	0,3	4,3	20,9	1,1	22,0	53,0
0-2	4,5	3,6	12,6	3,3	1,8	0,5	5,6	18,1	3,9	31,7	39,3
2-5	4,2	5,2	15,7	2,6	1,7	0,4	4,7	20,4	2,5	23,3	52,0
5-15	4,1	5,7	17,1	2,2	1,5	0,4	4,3	21,3	1,9	19,3	59,0
15-25	4,1	5,6	16,4	2,5	1,5	0,3	4,3	20,7	1,9	20,7	57,0
PEARSON (r)	-0,67	0,70	0,66	-0,59	-0,87	-0,92	-0,77	0,62	-0,76	-0,70	0,73
SIGNIFICÂNCIA	0,16	0,15	0,17	0,20	0,07	0,04	0,12	0,19	0,12	0,15	0,14
DOSAGEM (t ha ⁻¹)	pH CaCl ₂	Al	H+Al	Ca	Mg	K	SB	T	P mg dm ⁻³	V %	m
		cmol _c dm ⁻³									
0 BC	4,1	5,6	16,6	2,4	1,6	0,3	4,3	20,9	1,1	22,0	53,0
3	4,1	5,6	16,7	2,3	1,5	0,3	4,2	20,8	1,2	20,0	57,5
6	4,1	5,3	16,4	2,4	1,5	0,3	4,3	20,6	1,4	20,5	55,8
12	4,4	4,2	13,3	3,2	1,9	0,5	5,6	18,9	5,1	30,8	42,3
PEARSON (r)	0,88	-0,95	-0,91	0,87	0,75	0,88	0,88	-0,88	0,91	0,81	-0,77
SIGNIFICÂNCIA	0,06	0,03	0,05	0,06	0,13	0,06	0,06	0,06	0,05	0,10	0,12

CTC_e – capacidade de troca de cátions efetiva; T – capacidade de troca de cátions a pH 7; H+Al – acidez trocável; m – saturação por al; V – saturação por bases.

FONTE: O autor (2014).

Independente da granulometria ou quantidade aplicada, em geral, o biocarvão contribuiu para o aumento do pH, diminuiu os teores de Al e os índices de acidez trocável (H+Al) e saturação por Al (m%), aumentou os teores disponíveis de Ca, Mg, K e P e aumentou os índices de saturação por bases (V%) e soma de bases (SB),

comparando ao tratamento testemunha (0 BC). No entanto, foi observado que a utilização de biocarvão diminuiu o CTC a pH 7 (T), o que pode ser explicado pelo maior valor da acidez trocável (H+Al) – utilizado diretamente no cálculo - no tratamento BC.

As quantidades crescentes de biocarvão foram mais correlacionadas com as variáveis analisadas do que o aumento (ou diminuição) das granulometrias utilizadas, uma vez que os valores dos coeficientes de Pearson (r) para a dosagem foram maiores (em módulo) que para a granulometria.

Considerando apenas a granulometria, é possível observar que houve uma tendência de que na medida em que o tamanho das partículas foi diminuído, os valores de pH, Ca, Mg, K, SB, P e V% aumentaram; e os valores de Al, H+Al, T e m% diminuíram. Apesar dos altos valores de r (em módulo) apenas para K foi observado valor significativo ($r = -0,92$; $p < 0,05$), indicando que diminuindo o tamanho das partículas de biocarvão, tem-se maior disponibilidade de K na solução. Em geral, quando aplicou-se biocarvão em menores granulometrias, aumentou-se a fertilidade do solo.

Ainda são limitadas as informações sobre os efeitos do tamanho das partículas do biocarvão na interação com os processos do solo. Por um lado, pode-se argumentar que menores partículas aumentam a eficiência na interação com o solo devido à maior superfície de contato, por outro lado, a maior porosidade de uma partícula de biocarvão pode fazer da granulometria um parâmetro redundante (JOSEPH *et al.*, 2009).

Além dos impactos diretos na interação com nutrientes na solução do solo, o tamanho das partículas pode influenciar no potencial de liberação ou lixiviação de nutrientes no solo. A liberação ou lixiviação de nutrientes adsorvidas nos biocarvões pode ser reduzida ou facilitada pelo transporte das próprias partículas menores de biocarvão no perfil do solo (MAJOR *et al.*, 2009).

Lehmann *et al.* (2003) avaliaram a influência do tamanho das partículas do biocarvão para a fertilidade do solo, em duas classes diamétricas de biocarvão: 2 ou 20 mm. Após 45 dias da aplicação do biocarvão no solo, os autores não encontraram diferenças relevantes entre as duas granulometrias avaliadas para a fertilidade do solo. Também não houve diferença significativa na absorção de nutrientes e na produção de biomassa de feijão-caupi (*Vigna unguiculata*). No

entanto, os autores alertam que isto pode mudar após várias safras e lixiviações mais intensas, e que deveria ser testado em experimentos de campo a longo prazo.

Para as doses, é possível observar uma tendência de que o aumento nas quantidades de biocarvão aplicado proporcionou melhoria nas propriedades químicas do solo, principalmente por aumentar o pH, os teores de Ca, Mg, K, P, SB e V%, e diminuir os valores de Al, H+Al. Os valores de *r* foram significativos apenas para Al (*r* = -0,95; *p*<0,05), acidez trocável (H+Al) (*r* = -0,91 *p*<0,05) e P (*r* = 0,91; *p*<0,05), onde o aumento da quantidade de biocarvão no solo diminui a acidez trocável e os teores de Al, mas aumentou a disponibilidade de P.

Algumas pesquisas têm mostrado os efeitos da utilização do biocarvão no aumento da fertilidade do solo. Zhao *et al.*, 2014, concluíram que a aplicação de biocarvão de palha de arroz apresentou um efeito positivo na produtividade de arroz e trigo, seguido de efeito positivo na absorção de N, P, K, Ca e Mg pelas plantas, devido principalmente a disponibilidade de P, K, Ca e Mg dos solos incorporados com biocarvão. Já Liang *et al.* (2014) observaram que a aplicação de 90 t ha⁻¹ de biocarvão proporcionou aumento no pH do solo e capacidade de retenção de água, e redução na densidade do solo, depois de três anos da data de aplicação do biocarvão. Os autores também observaram que apesar da redução da disponibilidade de N, a aplicação do biocarvão aumentou a disponibilidade de K. Van Zwieten *et al.* (2010) observaram aumento de pH, capacidade de troca de cátions, K, Ca e carbono total após a aplicação de 10 t ha⁻¹ de biocarvão. Ainda notaram observaram redução da acidez trocável e aumento na absorção de N por plantas de trigo após através da aplicação do biocarvão.

Na análise elementar dos tratamentos avaliados, a análise de variância revelou interação significativa apenas para a relação H/C (*p*=0,006), considerando um limite de probabilidade de erro de 10%. Não houve interação significativa nos teores de C (*p*=0,816) e N (*p*=0,106), e a relação C/N (*p*=0,456), mas estas variáveis foram estatisticamente diferentes entre os tratamentos no fator dosagem, enquanto que o fator granulometria não apresentou influência significativa para estas variáveis (TABELA 11). A relação O/C não foi significativa nem na interação, nem na análise individual dos fatores.

TABELA 11. CARBONO, NITROGÊNIO E RELAÇÃO C/N NOS SOLOS INCORPORADOS COM DIFERENTES DOSES DE BIOCARVÃO APÓS 12 MESES DA APLICAÇÃO EM VIVEIRO

DOSAGEM (t/ha)	C (g kg ⁻¹)	N (g kg ⁻¹)	C/N
0	21,4 d	1,7 a	21,2 d
3	30,5 c	1,6 a	30,9 c
6	39,0 b	1,7 a	37,4 b
12	58,8 a	1,8 a	54,7 a
F (3,45)	124,0**	4,7*	201,8**
CV (%)	33,1	9,3	28,7

Médias seguidas por uma mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ($p > 0,05$). *significativo ao nível de 95% de probabilidade pelo teste F. **significativo ao nível de 99% de probabilidade pelo teste F. ^{ns} não significativo pelo teste F ($P > 0,05$).

FONTE: O autor (2014)

Os teores de C aumentaram com o aumento da aplicação de biocarvão no solo, sendo que o tratamento com a maior aplicação, com 12 t ha⁻¹, foi obtida a maior média, diferenciando estatisticamente dos demais. O tratamento sem a aplicação de biocarvão no solo apresentou a menor média de C e foi estatisticamente diferente outros tratamentos avaliados.

O teste F revelou diferenças significativas para N entre as diferentes doses aplicadas, no entanto, o teste de Tukey não foi capaz de identificar estas diferenças. Apesar de apresentar maior teor de N que o solo, o biocarvão não aumentou consideravelmente a disponibilidade do nutriente no solo nas quantidades aplicadas neste trabalho.

A relação C/N variou de 21,2 a 54,7 entre os tratamentos, sendo o maior valor no tratamento com a aplicação de 12 t ha⁻¹ e o menor no tratamento testemunha, sem a aplicação do biocarvão. Isto pode ser explicado pela maior quantidade de C nos tratamentos quando o biocarvão foi adicionado.

O fator que controla o equilíbrio entre a forma orgânica e mineral do N no solo é a relação C/N. A mineralização e a imobilização controlam a disponibilidade de N para as plantas. A mineralização é a conversão do N orgânico em forma mineral (nitrato, nitrito, amônio, amônia etc.), enquanto a imobilização é a incorporação do N à biomassa. Na média, a biomassa microbiana apresenta relação C/N de 8. Já a matéria orgânica do solo, estabilizada na forma de substâncias húmicas, apresenta relação C/N de 12 (DICK *et al.*, 2009). Para os tratamentos deste trabalho, com a aplicação de um biocarvão com alto teor de C, provavelmente ocorreu inicialmente uma imobilização de N no solo, através do consumo de N pelos microrganismos. No

entanto, com a continuidade do processo, essa biomassa microbiana será convertida em matéria orgânica até atingir o equilíbrio (C/N igual a 12).

Foi observada uma interação entre granulometria e a dosagem aplicada para a relação H/C. O maior efeito nos valores de H/C foi observado para a dosagem aplicada, e apenas foram observadas diferenças significativas entre as diferentes granulometrias quando foi aplicado 3 t ha⁻¹. No entanto, não foi possível encontrar uma tendência da influência do tamanho das partículas do biocarvão, uma vez que o maior valor para H/C foi obtido no tratamento com a granulometria de 15-25 mm (maior classe), estatisticamente semelhante à granulometria 2-5 mm (segunda menor classe). As granulometrias de 0-2 mm (menor classe) e 5-15 mm (segunda maior classe) também foram semelhantes estatisticamente (TABELA 12).

TABELA 12. RELAÇÃO H/C PARA AS DIFERENTES CLASSES GRANULOMÉTRICAS E DOSES APLICADAS APÓS 12 MESES EM VIVEIRO

GRANULOMETRIA (mm)	DOSAGEM (t ha ⁻¹)			F (2,6)	CV (%)
	3	6	12		
0-2	2,52 bcA	2,16 aA	1,54 aB	14,1**	22,1
2-5	2,85 abA	1,89 aB	1,33 aC	28,7**	35,8
5-15	2,46 cA	1,89 aB	1,36 aC	19,4**	26,6
15-25	2,92 aA	2,38 aB	1,42 aC	67,7**	30,0
F (3,9)	5,8**	2,9 ^{ns}	0,9 ^{ns}		
CV (%)	11,5	20,3	15,0		

Médias seguidas por uma mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey (p>0,05). **significativo ao nível de 99% de probabilidade pelo teste F. ^{ns} não significativo pelo teste F (p>0,05).

FONTE: O autor (2014)

A relação H/C mais alta indica maior alifaticidade e menor proporção de anéis aromáticos. Do mesmo modo, o incremento da relação O/C reflete o aumento da alifaticidade da matéria orgânica (SILVA; MENDONÇA, 2007). Em termos de estrutura química, o biocarvão é comumente considerado altamente aromático e sua estrutura não depende apenas da temperatura em que foi produzido, mas também da natureza da matéria prima (KRULL *et al.*, 2009).

As razões atômicas (ou razões molares) H/C e O/C são índices úteis para a avaliação e comparação da composição química da matéria orgânica do solo. A razão H/C é usualmente empregada para avaliar a proporção entre teor de grupos alifáticos e teor de grupos aromáticos; para amostras de solos valores entre 0,6 e 1,4 têm sido observados. Esse índice tem como referência o benzeno (C₆H₆), cuja

razão H/C é 1. Portanto, estruturas aromáticas condensadas apresentariam valores baixos para razão H/C enquanto valores superiores a 1 indicariam maior alifaticidade. Já a razão atômica O/C é utilizada para inferir sobre o grau de oxidação da substância húmica (DICK *et al.*, 2009)

Dentro de cada granulometria, foi observado que o aumento da dosagem de biocarvão aplicada, diminuiu a relação H/C. Para todas as granulometrias, a aplicação de 12 t ha⁻¹ de biocarvão proporcionou médias da relação H/C estatisticamente inferiores à aplicação de 3 t ha⁻¹. Isto pode ser explicado pela maior adição de C promovida pela maior dosagem aplicada de biocarvão.

Especificamente, as relações H/C e O/C são usadas para medir o grau de aromaticidade e maturação da matéria orgânica, que podem ser mais bem observados através do diagrama de Van Krevelen (RICE; MACCARTHY, 1991; MAZUREK; BEJGER, 2014). O diagrama de Van Krevelen para as diferentes classes granulométricas e doses utilizadas neste trabalho é apresentado na FIGURA 5.

É possível observar as diferenças no grau de aromaticidade entre o solo sem a adição de biocarvão (tratamento testemunha), os tratamentos envolvendo diferentes doses e classes granulométricas, e apenas o biocarvão que compôs os tratamentos.

Os solos incorporados com o biocarvão se apresentaram mais aromáticos que os solos do tratamento testemunha, independente da granulometria ou dosagem utilizada. O alto teor de C presente no biocarvão pode proporcionar ao solo maior recalcitrância e manutenção da fertilidade em longo prazo. Devido à oxidação parcial, as unidades aromáticas periféricas do carbono pirogênico contêm ácidos, principalmente carboxílicos, que podem explicar os altos valores da CTC desses solos (GLASER *et al.*, 2002; NOVOTNY *et al.*, 2009). No entanto, em experimento avaliando dois processos de produção de biocarvão a partir de palha de milho, Lee *et al.* (2010) encontraram que os valores de CTC aumentaram com a diminuição da aromaticidade dos biocarvões avaliados.

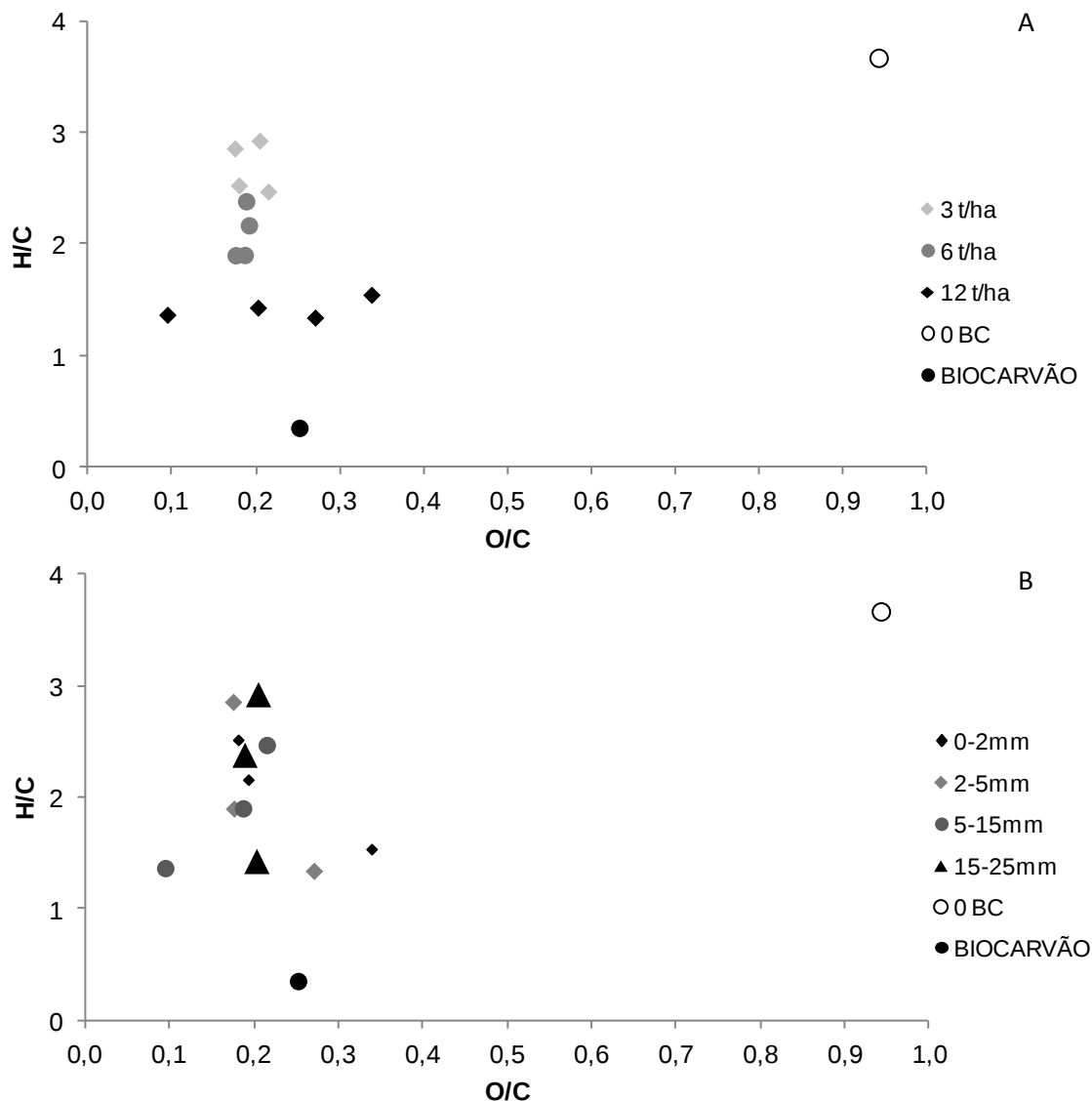


FIGURA 5. DIAGRAMA DE VAN KREVELEN PARA AS DOSES (A) E DIFERENTES CLASSES DIAMÉTRICAS (B) DO BIOCARVÃO APLICADO NO SOLO
 FONTE: O autor (2014)

A quantidade de biocarvão aplicada no solo (FIGURA 5A) parece contribuir mais para a aromaticidade dos solos do que a granulometria (FIGURA 5B) dos biocarvões utilizados. Ou seja, a dosagem aplicada influenciou mais na redução das relações H/C e O/C do que as diferentes classes granulométricas. Visualmente é possível observar uma tendência de maior aromaticidade à medida que se aumenta a dosagem de biocarvão aplicada no solo, enquanto que para as classes granulométricas, o comportamento dos solos para a aromaticidade é heterogêneo, não sendo possível observar uma tendência.

3.1.2 Avaliação do carbono no solo

Considerando o total de carbono aplicado no solo, através dos biocarvões (689,2 g kg⁻¹ de C), e o teor de carbono do tratamento testemunha (sem a aplicação de biocarvão; 21,4 g kg⁻¹ de C), é possível observar na FIGURA 6, a adição de C promovida pela aplicação de biocarvão no solo e o máximo de C que os solos avaliados poderiam apresentar.

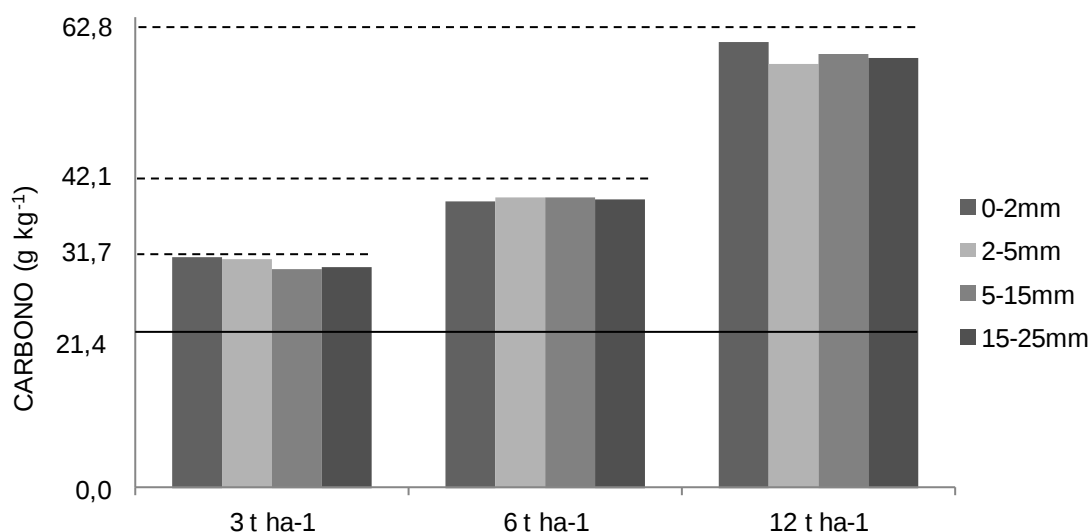


FIGURA 6. CAPACIDADE MÁXIMA DE CARBONO (LINHAS TRACEJADAS) PARA CADA DOSAGEM DE BIOCARVÃO APLICADA. LINHA SÓLIDA: TRATAMENTO TESTEMUNHA (SEM BIOCARVÃO)

FONTE: O autor (2014)

A partir do tratamento testemunha, foi possível estimar o máximo de C acumulado que os tratamentos poderiam apresentar ao final de 12 meses da aplicação do biocarvão. Os valores máximos que poderiam ser atingidos são iguais a 31,7; 42,1 e 62,8 g kg⁻¹ com a adição de 3, 6 e 12 t ha⁻¹ de biocarvão, respectivamente. Com estes resultados foi possível estimar as perdas de C que ocorreram após a aplicação do biocarvão.

Em geral, as médias de perda de carbono para cada dosagem foram 4,1; 6,6 e 6,2%, quando se aplicou 3, 6 e 12 t ha⁻¹. Na menor dosagem aplicada (3 t ha⁻¹), a maior perda estimada de C (6,3%) foi proporcionada na granulometria de 5-15 mm. Já nas maiores doses (6 t ha⁻¹ e 12 t ha⁻¹), as maiores perdas foram iguais a 7,3 e 8,4%, nas classes granulométricas 0-2 e 2-5 mm, respectivamente.

Nguyen *et al.* (2008) estimaram a o tempo de permanência do C em solos no Quênia, em oito diferentes momentos de coleta (de dois a 100 anos), em florestas que sofreram queimadas. Os autores observaram que os teores de C caíram de 91,8 para 75,6 g kg⁻¹ após dois anos de avaliação. Esta diminuição representa cerca de 18% de perda de C durante este período. Os autores atribuíram que as perdas foram consequências da oxidação do C para CO₂, bem como por exportação física do C por lixiviação ou erosão do C orgânico particulado ou dissolvido. Comparando os resultados deste trabalho com os obtidos por Nguyen *et al.* (2008), pode-se considerar que as perdas de C foram similares entres os dois trabalhos.

Mukherjee *et al.* (2014) estimaram uma perda de CO₂ igual a 9,2 t ha⁻¹ por ano, no tratamento testemunha sem a adição de biocarvão em solo cultivado com soja. Os autores observaram que a aplicação de 7,5 t ha⁻¹ de biocarvão, produzido a partir de cavacos de carvalho, no solo reduziu as emissões de CO₂ para 3,96 t ha⁻¹ no acumulado de um ano de estudo. Considerando os resultados obtidos pelos autores citados, pode-se inferir que a utilização de biocarvão reduziu as perdas de C de 2,5 para 1,1 t C ha⁻¹ pela emissão de CO₂, durante um ano de avaliação.

Considerando as condições deste trabalho e que o C foi perdido apenas via CO₂, os valores máximos por perda de C via emissão de CO₂ podem ser iguais a 162, 523 e 980 kg C/ha nas doses aplicadas de 3, 6 e 12 t/ha de biocarvão, respectivamente. Estes valores estão abaixo dos valores encontrados por Mukherjee *et al.* (2014), possivelmente devido às condições de desenvolvimento de trabalho serem diferentes.

Para as granulometrias, à medida que o tamanho das partículas aumentou, maiores foram as perdas estimadas de C. As médias de perda foram iguais a 4,2; 5,7; 6,1 e 6,5%, nas classes 0-2, 2-5, 5-15 e 15-25 mm, respectivamente. É importante ressaltar que o ocorrida pode ter sido um erro experimental no momento da coleta do solo. Ao se introduzir o cano PVC para a amostragem dos solos, as partículas maiores pode ter se desprendido (ou então separadas) durante a coleta e assim, pode ter ocorrido uma subestimação dos teores totais de C nestes solos e com isso, uma superestimação das perdas de C de acordo com o aumento das classes granulométricas.

3.1.3 Avaliação do crescimento

Considerando um limite de probabilidade de erro de 10%, a interação entre os fatores granulometria e dosagem não foi significativa para diâmetro ($p=0,287$), altura ($p=0,475$) e massa seca da parte aérea ($p=0,541$). Analisando por fator, granulometria ou dosagem, também não foram observadas diferenças significativas entre os tratamentos para as três variáveis, após sete meses de crescimento (TABELA 13).

TABELA 13. DIÂMETRO, ALTURA E MASSA SECA DA PARTE AÉREA (MSPA) DAS MUDAS DE PÍNUS NAS DIFERENTES CLASSES GRANULOMÉTRICAS E DOSES DE BIOCARVÃO APLICADO APÓS SETE MESES DE CRESCIMENTO

GRANULOMETRIA (mm)	DIÂMETRO (mm)	ALTURA (mm)	MSPA (g)
Testemunha	5,0	24,6	3,5
0-2	5,3	27,0	3,7
2-5	5,1	24,3	3,2
5-15	5,6	28,7	4,2
15-25	5,4	26,1	4,1
F (4,44)	0,4 ^{ns}	1,1 ^{ns}	2,0 ^{ns}
CV (%)	14,0	12,2	27,1
DOSAGEM (t ha ⁻¹)	DIÂMETRO (mm)	ALTURA (mm)	MSPA (g)
Testemunha	5,0	24,6	3,5
3	5,7	27,5	4,1
6	5,4	26,3	4,2
12	5,0	25,9	3,1
F (3,45)	1,2 ^{ns}	0,3 ^{ns}	0,9 ^{ns}
CV (%)	11,5	11,5	24,7

^{ns} não significativo pelo teste F ($P>0,05$).

FONTE: O autor (2014)

O diâmetro variou entre 5,0 e 5,7 mm nas plantas avaliadas, os menores valores foram observados no tratamento testemunha e com a aplicação de 12 t ha⁻¹, e o maior com a aplicação de 3 t ha⁻¹, respectivamente.

A maior altura, igual a 28,7 cm, foi obtida quando se utilizou o biocarvão da classe granulométrica 5-15 mm. A menor média de altura foi observada no tratamento testemunha, igual a 24,6 cm.

A massa seca da parte aérea atingiu valores entre 3,1 e 4,2 g. A menor média foi obtida com a aplicação de 12 t ha⁻¹, e as maiores nos tratamentos com a aplicação de 6 t ha⁻¹ ou com a utilização de biocarvão com classe granulométrica 5-

15 mm. O tratamento testemunha apresentou uma média de 3,5 g de massa seca da parte aérea das plantas.

Em um experimento de avaliação da utilização de biocarvão para o crescimento inicial de sete espécies florestais nativas da Zâmbia, Chidumayo (1995) comparou a taxa de germinação e o crescimento da parte aérea de mudas de *Acacia polyacantha*, *Bauhinia petersiana*, *Isobertlinia angolensis*, *Pterocarpus angolensis*, *Swartzia madagascariensis*, *Tamarindus indica* e *Ziziphus mauritiana*, produzidas em solos com e sem biocarvão. Para solos não incorporados com biocarvão, a germinação das espécies variou de 0 a 30%, enquanto que em solo com biocarvão a germinação ficou entre 20 e 70%. Devido à baixa taxa de germinação das espécies em solos sem biocarvão, os autores apenas compararam o crescimento da parte aérea de duas espécies entre os tratamentos. Para *B. petersiana* o carvão aplicado no solo proporcionou incremento na altura e massa seca da parte aérea, enquanto que para *I. angolensis* o solo sem a aplicação de biocarvão proporcionou as maiores médias de altura e massa seca da parte aérea.

Avaliando a utilização de diferentes tipos de biocarvão, produzidos a partir de nove espécies de plantas, Pluchon *et al.* (2014) aplicaram 3 t ha⁻¹ de cada biocarvão, em dois tipos diferentes de solo, em vasos com capacidade volumétrica de 0,8 dm³. Os autores avaliaram a produção de mudas de quatro espécies florestais (duas folhosas e duas coníferas) durante 70 dias de experimento. Foi observado que os biocarvões de diferentes matérias primas proporcionaram efeitos diferentes para o crescimento das plantas, sendo que aqueles com as maiores concentrações de fosfato e com a mais alta CTC apresentam os efeitos mais positivos para o crescimento das mudas. Os autores também observaram que as mudas das folhosas foram mais sensíveis à adição de biocarvão ao solo que as mudas de coníferas. Ainda encontram que para o solo com o mais baixo nível de P, as mudas responderam melhor a aplicação de biocarvão do que para o solo com o maior nível de P.

Como mostrado por Chidumayo (1995) e Pluchon *et al.* (2014), o biocarvão pode influenciar no crescimento de espécies florestais. Neste trabalho, o biocarvão não afetou o crescimento inicial, até o sétimo mês, nas mudas de *Pinus taeda*. A interação entre a quantidade e as classes granulométricas aplicadas também não influenciou nas variáveis analisadas. Provavelmente os sete meses de crescimento e o volume de solo (e biocarvão) utilizado (8 dm³) não foram suficientes para

evidenciar a influência do biocarvão para o crescimento da espécie. Esta hipótese pode ser comprovada através dos resultados obtidos em campo deste trabalho.

3.2 EXPERIMENTO EM CAMPO

3.2.1 Avaliação das propriedades químicas

Os resultados da análise química após 30 meses da instalação do experimento mostraram que a aplicação de 10 t ha⁻¹ de biocarvão pode contribuir mais para a fertilidade do solo do que os tratamentos sem biocarvão e com a aplicação de NPK (TABELA 14).

TABELA 14. ANÁLISE QUÍMICA DO SOLO INCORPORADO COM 10 T HA⁻¹ DE BIOCARVÃO E DOS TRATAMENTOS TESTEMUNHAS APÓS 30 MESES DA IMPLANTAÇÃO DO EXPERIMENTO

TRATAMENTOS ¹	EXPERIMENTO													
	pH	Ca	Mg	Al	H+Al	CTC _e	T	K	P	Cu	Fe	Mn	m	V
	CaCl ₂	cmol _c dm ⁻³						mg dm ⁻³				%		
Fazenda Rio Feio														
T10	4,9	0,8	0,4	5,7	10,9	7,1	12,3	0,17	7,7	1,3	477	23,4	80,9	11,1
T _{NPK}	4,0	1,0	0,5	5,1	30,7	6,7	32,3	0,12	4,1	0,9	499	12,6	76,1	5,0
T0	4,0	0,7	0,3	5,6	30,7	6,6	31,8	0,08	2,5	0,9	476	16,8	83,8	3,4
Fazenda Valério														
T10	5,1	0,7	0,3	9,6	8,7	10,8	9,9	0,13	3,3	1,7	679	24,2	89,0	12,0
T _{NPK}	4,0	0,6	0,2	6,5	30,7	7,5	31,6	0,08	1,5	1,1	680	15,0	87,5	3,0
T0	4,1	0,8	0,3	5,7	27,4	6,9	28,7	0,11	2,3	1,5	682	16,8	81,7	4,4
BIOCARVÃO	7,7	0,5	0,2	0,0	1,2	2,0	2,0	0,10	1,9	-	-	-	0,0	40,0

CTC_e – capacidade de troca de cátions efetiva; T – capacidade de troca de cátions a pH 7; H+Al – acidez trocável; m – saturação por al; V – saturação por bases.

FONTE: O AUTOR (2014).

Os valores de pH foram superiores para os dois sítios no tratamento com a aplicação do biocarvão (T10). Em ambos os sítios, o tratamento com biocarvão aumentou em mais de 20% o pH do solos após o período avaliado, comparando aos tratamentos testemunhas (T0 e T_{NPK}). Possivelmente, o mais alto pH nos solos incorporados com biocarvão, contribuiu para a diminuição dos índices de acidez trocável (H+Al) nos solos. O tratamento T10 apresentou índices de acidez trocável duas vezes menores que os tratamentos testemunhas (T0 e T_{NPK}) nos dois sítios amostrados. De acordo com Verheijen *et al.* (2009), a composição química e

estrutural do biocarvão é altamente heterogênea, com exceção do pH, que normalmente é maior que 7. Enquanto que Enders *et al.* (2012) afirmaram que biocarvões provenientes de materiais lenhosos apresentaram alta variação dos valores de pH, entre 4 e 9.

A CTC a pH 7 (T), que representa a capacidade máxima de adsorção de cátions, também foi evidente nos tratamentos avaliados. O tratamento com biocarvão (T10) apresentou a CTC a pH 7 aproximadamente duas vezes menor que os tratamentos testemunhas (T0 e T_{NPK}), em ambos sítios. Isso pode ser explicado pela maior acidez trocável (H+Al) nos solos sem biocarvão, pelo fato de que os sítios de troca de cátions estão mais ocupados com H⁺ e Al³⁺.

Também é importante ressaltar a saturação por bases (V%) do solo onde o biocarvão foi aplicado (T10). Mesmo sendo considerada baixa, a saturação por bases no tratamento T10 foi pelo menos duas vezes maior que nos tratamentos testemunhas (T0 e T_{NPK}). Isso pode ser principalmente explicado pelos menores valores de CTC a pH 7 no tratamento T10.

Ainda vale ressaltar as diferenças entre os tratamentos para os teores disponíveis de K e P. O tratamento com biocarvão (T10) apresentou maiores valores de P e K em ambos os sítios, evidenciando a sua importância para a manutenção da fertilidade do solo. O biocarvão também apresenta cinzas, que são fontes de P, K e outros elementos, que podem ser mais solúveis e acessíveis nos biocarvões que na matéria prima não-pirosilada (SOHI *et al.*, 2010).

Petter *et al.* (2012) afirmaram que a aplicação de biocarvão em aplicações de 8, 16 e 32 t ha⁻¹, afetou positivamente a fertilidade do solo, aumentando principalmente a disponibilidade de Ca, P, Al, e aumentando o pH e o carbono orgânico total dos solos. Major *et al.* (2010), estudando a influência do biocarvão em duas doses, 8 ou 20 t ha⁻¹, aplicadas uma única vez, na qualidade do solo adubado, observaram, após quatro anos da aplicação, que o biocarvão aumentou principalmente a disponibilidade de Ca e Mg e o pH, e diminuiu a acidez trocável. Van Zwieten *et al.* (2010) observaram aumento de pH, capacidade de troca de cátions, K, Ca e carbono total após a aplicação de 10 t ha⁻¹ de biocarvão. Ainda notaram observaram redução da acidez trocável e aumento na absorção de N por plantas de trigo após através da aplicação do biocarvão.

3.2.2 Avaliação do crescimento

Após um mês do plantio, a sobrevivência das mudas de *Pinus taeda* foi maior que 94% para todos os tratamentos avaliados, não havendo diferenças significativas entre si ($p=0,459$).

A altura total ($p=0,006$) e o diâmetro de colo ($p=0,007$), após 12 meses da instalação do experimento apresentaram diferenças significativas entre os tratamentos e seguiram uma tendência linear de crescimento à medida em que a dose de biocarvão foi aumentada (FIGURA 7). A altura total variou de 0,99 a 1,26 m ($y = 1,0308 + 0,02175 x$) e o diâmetro de 1,98 a 2,57 cm ($y = 2,05596 + 0,04605 x$), os menores e os maiores valores, para as duas variáveis, foram obtidos nos tratamentos testemunhas T0 e T_{NPK}, respectivamente. Considerando as equações citadas, as quantidades de biocarvão necessárias para atingir os valores médios de altura e diâmetro obtidos (após 12 meses) no tratamento com a aplicação de NPK, seriam iguais a 13,8 t ha⁻¹ e 13,9 t ha⁻¹ de biocarvão, respectivamente.

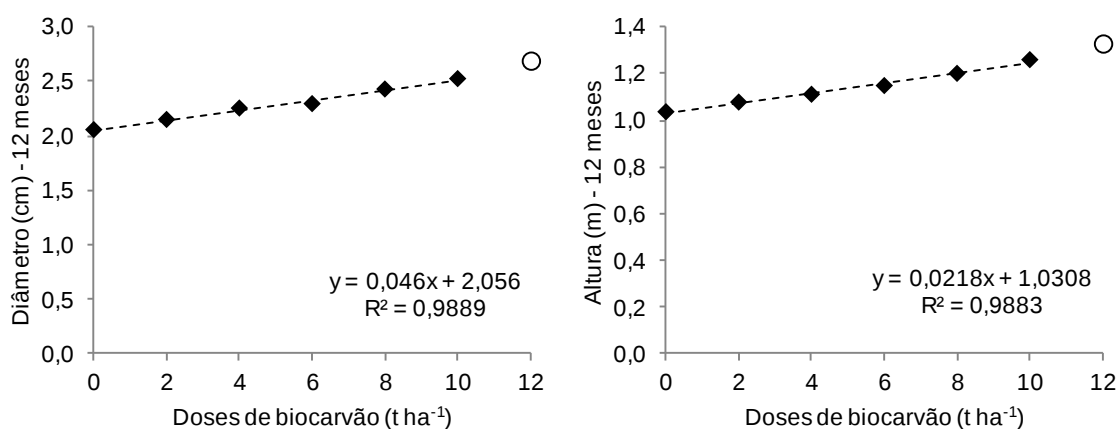


FIGURA 7. ALTURA TOTAL E DIÂMETRO DE COLO, AOS 12 MESES APÓS A APLICAÇÃO DE BIOCARVÃO AO SOLO, NO CRESCIMENTO DE *Pinus taeda*

FONTE: O autor (2014).

O maior e o menor valor médio encontrado para a altura aos 30 meses de idade foram 3,37 e 3,11 cm nos tratamentos T10 e T0 ($p=0,05$), respectivamente. De forma semelhante, o maior e menor crescimento em diâmetro de colo foi proporcionado pelos tratamentos T10 e T0, atingindo valores entre 7,37 e 6,19 cm ($p=0,05$). Altura e diâmetro, após 30 meses de avaliação, apresentaram um

tendência linear de crescimento à medida em que a dose de biocarvão foi aumentada (FIGURA 8).

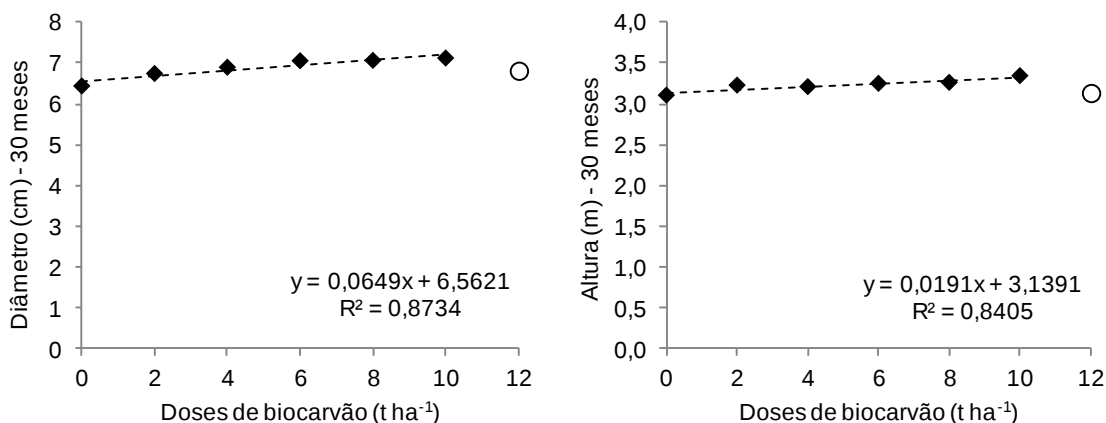


FIGURA 8. ALTURA TOTAL E DIÂMETRO DE COLO, AOS 30 MESES APÓS A APLICAÇÃO DE BIOCARVÃO AO SOLO, NO CRESCIMENTO DE *Pinus taeda*

FONTE: O autor (2014).

O volume individual ($p=0,06$) e o volume estimado por hectare ($p=0,18$) foram afetados positivamente pela aplicação de biocarvão no solo, considerando um limite de 18% de probabilidade de erro. Os volumes, individual e por hectare, apresentaram uma tendência linear de crescimento à medida em que a dose de biocarvão foi aumentada (FIGURA 9).

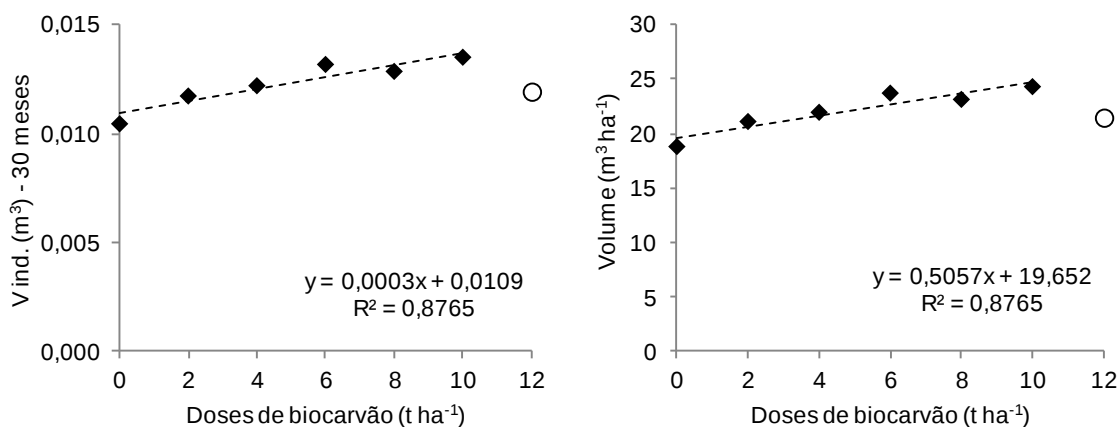


FIGURA 9. VOLUME INDIVIDUAL E VOLUME ESTIMADO POR HECTARE, AOS 30 MESES APÓS A APLICAÇÃO DE BIOCARVÃO AO SOLO, NO CRESCIMENTO DE *Pinus taeda*

FONTE: O autor (2014).

Considerando a equação de regressão obtida com a aplicação de biocarvão para o volume estimado por hectare, é possível estimar que a aplicação de NPK

utilizada equivalha a uma adição de $3,8 \text{ t ha}^{-1}$ de biocarvão. Vale ainda ressaltar que o tratamento T10 proporcionou crescimento 50% superior ao tratamento T0, para o volume estimado por hectare.

Apesar de ser ainda pouco expressiva, a utilização de biocarvão visando o crescimento de espécies florestais tem sido estudada. Omil *et al.* (2013), avaliou a aplicação de $4,5 \text{ t ha}^{-1}$ de uma mistura de biocarvão e cinzas, proveniente de uma usina termelétrica, em um povoamento de *Pinus radiata*, com idade de 13 anos no início de plantio, em dois tipos de solo. Os autores observaram respostas no crescimento em altura, diâmetro e volume principalmente após dois anos de aplicação da mistura. Os autores concluíram que o crescimento foi mais evidente no sítio de qualidade mais baixa, e sugerem que o biocarvão pode ser uma alternativa para uma silvicultura intensiva em sítios poucos produtivos em diferentes estágios de estabelecimento do povoamento, com aplicação antes do fechamento das copas ou logo após o desbaste.

De forma semelhante Santalla *et al.* (2011), realizou a aplicação de biocarvão e cinzas, em um povoamento de *Pinus radiata* já estabelecido, com 25 anos de idade. Os autores observaram que a aplicação da mistura, após quatro anos da aplicação, proporcionou maiores incrementos de altura e diâmetro que o tratamento controle. No entanto, os autores encontraram que o tratamento combinado com Ca ($493 \text{ kg de Ca ha}^{-1}$) e P (65 kg P ha^{-1}) apresentou as maiores médias de altura e diâmetro, passados quatro anos após a aplicação, sendo estatisticamente superior ao tratamento controle, mas não ao tratamento com biocarvão e cinzas.

Também avaliando a aplicação de biocarvão, produzido por resíduos da indústria de papel e celulose, em um povoamento de *Pseudotsuga menziesii*, aos cinco anos de idade, Solla-Gullon *et al.* (2006) observaram que a aplicação contribuiu para o crescimento em altura do povoamento em 5,4 e 18% após o quarto ano da aplicação de 10 e 20 t ha^{-1} de biocarvão, respectivamente.

Em avaliação da utilização de cinzas de resíduos de *Pinus* produzidas em uma usina termelétrica, Solla-Gullón *et al.* (2008) encontraram diferenças significativas no crescimento de um povoamento de *Pinus radiata*, na Espanha, apenas após o quinto ano da implantação e aplicação das cinzas. A menor dosagem de cinzas aplicada, de 5 t ha^{-1} , promoveu o maior crescimento em altura e diâmetro do povoamento, atingindo médias de 217 e 7,1 cm, respectivamente. No entanto, não foi estatisticamente diferente da maior dosagem aplicada, 10 t ha^{-1} . Os

tratamentos testemunhas, sem a adição das cinzas e com a aplicação de NPK, proporcionou, ao final de cinco anos de avaliação, médias de altura e diâmetro estatisticamente iguais ao tratamento com a aplicação de cinzas em 10 t ha⁻¹.

4 CONCLUSÕES

A utilização de biocarvão como condicionador de substrato contribui para o aumento do pH, diminui os teores de Al e os índices de acidez trocável (H+Al) e saturação por Al (m%), aumenta os teores disponíveis de Ca, Mg, K e P e aumenta os índices de saturação por bases (V%) e soma de bases (SB), após 12 meses de avaliação em viveiro. As doses aplicadas de biocarvão são mais correlacionadas com a qualidade química do solo que as classes granulométricas utilizadas. O biocarvão não influenciou o crescimento das mudas de *Pinus taeda*, após sete meses de desenvolvimento em vasos.

O biocarvão melhora as propriedades químicas do solo em campo, após 30 meses de sua aplicação, principalmente pela redução da acidez do solo e pelo aumento dos valores de saturação por bases, K e P. O crescimento em campo das árvores de *Pinus taeda* é influenciado pela aplicação de biocarvão, até 12 meses de idade. Após 30 meses em campo, o crescimento volumétrico das árvores de *P. taeda* foi afetado positivamente ($p=0,18$) pela utilização do biocarvão como condicionador de solo.

REFERÊNCIAS

ABRAF. Anuário estatístico ABRAF 2013 ano base 2012 / ABRAF. – Brasília: 2013.148 p.

BLACKWELL, P.; Riethmuller, G.; COLLINS, M. Biochar application to soil. In: LEHMANN, J.; JOSEPH, S (Eds.). **Biochar for environmental management: Science and Technology**. London: Earthscan, 2009. p. 207-226.

CHIDUMAYO, E. N. Effects of wood carbonization on soil and initial development of seedlings in miombo woodland, Zambia. **Forest Ecology and Management**, v. 70, p. 353-357, 1994.

CUNHA, T. J. F.; MADARI, B. E.; BENITES, V. M.; CANELLAS, L. P.; NOVOTNY, E. H.; MOUTTA, R. O.; TROMPOWSKY, P. M.; SANTOS, G. A. Fracionamento químico da matéria orgânica e características de ácidos húmicos de solos com horizonte a antrópico da amazônia (Terra Preta). **Acta Amazonica**. V. 37, p. 91–98, 2007.

DICK, D. P.; NOVOTNY, E. H.; DIECKOW, J.; BAYER, C. Química da matéria orgânica do solo. In: MELO, V. F. & ALLEONI, L. R. F. (Eds.). **Química e mineralogia do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2009. p.1-67.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2.ed. Rio de Janeiro, 2006. 306p.

ENDERS, A.; HANLEY, K.; WHITMANA, T.; JOSEPH, S.; LEHMANN, J. Characterization of biochars to evaluate recalcitrance and agronomic performance. **Bioresource Technology**, v. 114, p. 644–653, 2012.

GLASER, B.; HAUMEIER, L.; GUGGENBERGER, G.; ZECH, W. The “Terra Preta” Phenomenon: A model for sustainable agriculture in the humid tropics’, **Naturwissenschaften**, vol 88, p. 37–41, 2001.

IPPUC - Instituto de Pesquisa e Planejamento Urbano de Curitiba. Curitiba em dados. Disponível em:
<http://www.ippuc.org.br/Bancodedados/Curitibaemdados/Curitiba_em_dados_Pesquisa.asp?ampliar=n%E3o>.
Acesso em: 15 Ago. 2012.

IRISH STANDARD CEN/TS 14775. **Solid biofuels - Method for the determination of ash content**. European Committee for Standardization, Brussels, 2004. 12 p.

IRISH STANDARD EN 15148. **Solid biofuels - determination of the content of volatile matter**. European Committee for Standardization, Brussels, 2009. 15 p.

JEFFERY, S.; VERHEIJEN, F. G. A.; VAN DER VELDE, M.; BASTOS, A. C. A quantitative review of the effects of biochar application to soils on crop productivity using meta-analysis. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 144, p. 175–187, 2011.

JOSEPH, S.; CAMPS-ARBESTAIN, M.; LIN, Y.; MUNROE, P.; CHIA, C. H.; HOOK, J.; VAN ZWIETEN, L.; KIMBER, S.; COWIE, A.; SINGH, B. P.; LEHMANN, J.; FOIDL, N.; SMERNIK, R. J.; AMONETTE, J. E. An investigation into the reactions of biochar in soil. **Australian Journal of Soil Research**, v. 48, p. 501–515, 2010.

JOSEPH, S.; PEACOCKE, C.; LEHMANN, J.; MUNROE, P. Developing a biochar classification and test methods. In: LEHMANN, J.; JOSEPH, S (Eds.). **Biochar for environmental management: Science and Technology**. London: Earthscan, 2009. p. 107-126.

KRULL, E. S.; BALDOCK, J. A.; SKJEMSTAD, J. O.; SMERNIK, R. J. Introduction Characteristics of Biochar: Organo-chemical Properties. In: LEHMANN, J.; JOSEPH, S. (Eds.). **Biochar for Environmental Management: Science and Technology**. London: Earthscan, 2009. p. 53–65.

LEHMANN, J.; JOSEPH, S. Biochar for Environmental Management: An Introduction. In: LEHMANN, J.; JOSEPH, S (Eds.). **Biochar for environmental management: Science and Technology**. London: Earthscan, 2009. p. 1-12.

LEHMANN, J.; SILVA JR, J. P. da; STEINER, C.; NEHLS, T.; ZECH, W.; GLASER, B. Nutrient availability and leaching in an archaeological Anthrosol and a Ferralsol of the Central Amazon basin: fertilizer, manure and charcoal amendments. **Plant and Soil**, v. 249, p. 343–357, 2003.

LIANG, F.; LI, G.; LIN, Q.; ZHAO, X. Crop yield and soil properties in the first 3 years after biochar application to a calcareous soil. **Journal of Integrative Agriculture**, v. 13, p. 525-532, 2014.

MACHADO, S. A.; FIGUEIREDO FILHO, A. **Dendrometria**. 2ª ed. Guarapuava: UNICENTRO, 2009. 316 p.

MAJOR, J.; RONDON, M.; MOLINA, D.; RIHA, S.J.; LEHMANN, J. Maize yield and nutrition during 4 years after biochar application to a Colombian savanna Oxisol. **Plant and Soil**, v. 333, p. 117–128, 2010.

MAJOR, J.; STEINER, C.; DOWNIE, A.; LEHMANN, J. Biochar effects on nutrient leaching. In: LEHMANN, J.; JOSEPH, S (Eds.). **Biochar for environmental management: Science and Technology**. London: Earthscan, 2009. p. 271-288.

MAZUREK, R.; BEJGER, R. The role of black locust (*Robinia pseudoacacia* L.) shelterbelts in the stabilization of carbon pools and humic substances in chernozem. **Polish Journal of Environmental Studies**, v. 23, p. 1263-1271, 2014.

MUKHERJEE, A.; LAL, R.; A.R. ZIMMERMAN, A. R. Effects of biochar and other amendments on the physical properties and greenhouse gas emissions of an artificially degraded soil. **Science of the Total Environment**, v. 487, p. 26–36, 2014.

NOVOTNY, E.; HAYES, M. H. B.; MADARI, B. E.; BONAGAMBA, T. J.; AZEVEDO, E. R. de; SOUZA, A. A. de; SONG, G.; NOGUEIRA, C. M.; MANGRICH, A. S. Lessons from the Terra Preta de Índios of the Amazon Region for the utilization of charcoal for soil amendment. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, v. 20, n. 6, p. 1003-1010, 2009.

OMIL, B.; PIÑEIRO, V.; MERINO, A. Soil and tree responses to the application of wood ash containing charcoal in two soils with contrasting properties. **Forest Ecology and Management**, v. 295, p.199–212, 2013.

PETTER, F. A.; MADARI, B. E.; SILVA, M. A. S.; CARNEIRO, M. A. C.; CARVALHO, M. T. .; MARIMON JR, B. H.; PACHECO, L. P. Soil fertility and upland rice yield after biochar application in the Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.47, n.5, p.699-706, 2012.

PLUCHON, N.; GUNDALE, M. J.; NILSSON, M. C.; KARDOL, P.; WARDLE, D. A. Stimulation of boreal tree seedling growth by wood-derived charcoal: effects of charcoal properties, seedling species and soil fertility. **Functional Ecology**, v. 28, p. 766–775, 2014.

REISSMANN, C. B. ; WISNIEWSKI, C. Aspectos nutricionais de plantios de Pinus. In: GONÇALVES, J. L. M., BENEDETTI, V. (Eds). **Nutrição e fertilização florestal**. Piracicaba: IPEF, 2000. p. 135-165.

RICE, J. A.; MACCARTHY, P. Statistical evaluation of the elemental composition of humic Substances. **Organic Geochemistry**, v. 17, p. 635-648, 1991.

SANTALLA, M.; OMIL, B.; RODRÍGUEZ-SOALLEIRO, R.; MERINO, A. Effectiveness of wood ash containing charcoal as a fertilizer for a forest plantation in a temperate region. **Plant Soil**, v. 346, p.63–78, 2011.

SILVA, I. R.; MENDONÇA, E. S. Matéria orgânica do solo. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V., V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 275-374.

SOHI, S. P.; KRULL, E.; LOPEZ-CAPEL, R.; BOL, A. Review of biochar and its use and function in soil. In: SPARKS, D. L. (Ed.). **Advances in Agronomy**. Burlington: Academic Press, 2010, p.47-82.

SOLLA-GULLÓN, F.; SANTALLA, M.; PÉREZ-CRUZADO, C.; MERINO, A.; RODRÍGUEZ-SOALLEIRO, R. Response of *Pinus radiata* seedlings to application of mixed wood-bark ash at planting in a temperate region: Nutrition and growth. **Forest Ecology and Management**, v. 255, p. 3873–3884, 2008.

SOLLA-GULLON, F.; SANTALLA, M.; RODRIGUEZ-SOALLEIRO, R.; MERINO, A. Nutritional status and growth of a young *Pseudotsuga menziesii* plantation in a temperate region after application of wood-bark ash. **Forest Ecology and Management**, v. 237, p. 312–321, 2006.

TIARKS, A. E.; HAYWOOD, J. D. *Pinus taeda* L. response to fertilization, herbaceous plant control, and woody plant control. **Forest Ecology and Management**, v. 14, p. 103-112, 1985.

VAN ZWIETEN, L.; KIMBER, S.; MORRIS, S.; CHAN, K.; DOWNIE, A.; RUST, J.; JOSEPH, S.; COWIE, A. Effects of biochar from slow pyrolysis of papermill waste on agronomic performance and soil fertility. **Plant and Soil**, v. 327, p. 235–246, 2009.

VERHEIJEN, F. G. A.; JEFFERY, S.; BASTOS, A. C.; VAN DER VELDE, M.; DIAFAS, I. Biochar Application to Soils - A Critical Scientific Review of Effects on Soil Properties, **Processes and Functions**. Luxembourg: EUR 24099 EN, Office for the Official Publications of the European Communities, 2009. 149p.

VOGEL, H. L. M.; SCHUMACHER, M. V.; STORCK, L.; WITSCHORECK, R. Crescimento inicial de *Pinus taeda* L. relacionado a doses de N, P e K. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 15, n. 2, p. 199-206, 2005.

WITSCHORECK, R. **Biomassa e nutrientes no corte raso de um povoamento de *Pinus taeda* L. de 17 anos de idade no município de Cambará do Sul – RS**. 2008. 80f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2008.

ZHAO, X.; WANG, J.; WANG, S.; XING, G. Successive straw biochar application as a strategy to sequester carbon and improve fertility: A pot experiment with two rice/wheat rotations in paddy soil. **Plant Soil**, v. 378, p. 279–294, 2014.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com o trabalho realizado, foi possível observar a influência do biocarvão como componente de substrato na qualidade da produção de mudas clonais e seminais de *Pinus taeda*; e também a sua influência no crescimento inicial de um povoamento da espécie em vasos e em campo.

Com a utilização do biocarvão da serragem de pinus para a produção de mudas de *P. taeda* foi observado que 60% de biocarvão como componente do substrato proporcionou o melhor desenvolvimento das mudas produzidas por sementes. Para as mudas clonais, as melhores médias de crescimento foram obtidos quando foi utilizado 20% de biocarvão como componente de substrato. O biocarvão como componente de substrato pode ter proporcionado uma maior interação química entre substrato e sistema radicular, o que promoveu uma combinação eficiente quando combinado ao substrato comercial. Na produção de mudas clonais, a composição do biocarvão com o substrato comercial pode ter proporcionado um melhor arranjo físico do substrato, quando utilizado em baixa proporção (20% de biocarvão) e com isso foi possível a obtenção de mudas clonais de maior qualidade. Já para as mudas produzidas por sementes, a parte química dos substratos parece ter apresentado maior influência. Como foram realizadas adubações de cobertura semanais, e assim, havendo a disponibilidade de nutrientes, o biocarvão presente nos substratos pode ter contribuído para a retenção e adsorção dos íons disponibilizados pelas adubações. Com isso, os nutrientes permaneceram na solução do substrato em maior quantidade e por maior período disponível para a absorção radicular.

Não houve diferenças significativas para o desenvolvimento das mudas nos vasos, considerando um limite de probabilidade de erro de até 15%. Provavelmente os sete meses de crescimento e o volume de substrato constituído por uma mistura de solo e biocarvão utilizado (8 dm³), não foram suficientes para evidenciar a influência do biocarvão para o crescimento da espécie. Entretanto, vale ressaltar que a qualidade dos solos após 12 meses nos tratamentos com a aplicação de biocarvão, nos experimentos de viveiro (também em campo, após 30 meses) foi melhor em relação ao tratamento testemunha. Evidenciando, dessa forma, o papel do biocarvão para o aumento e a manutenção da fertilidade do solo. Considerando

ainda a alta recalcitrância do biocarvão no solo, é possível inferir que a manutenção da fertilidade seja mantida em médio ou longo prazo.

A utilização de doses crescentes de biocarvão e das diferentes classes granulométricas influenciou a qualidade dos substratos. No entanto, a quantidade aplicada de biocarvão pareceu estar mais correlacionada com a qualidade química do solo que as classes granulométricas utilizadas. O tamanho das partículas de biocarvão parece ser uma variável paradoxal. Com a diminuição do tamanho das partículas tem-se uma maior superfície específica, aumentando as chances de aumentar a interação entre biocarvão e os processos no solo. Por outro lado, partículas maiores podem apresentar maior volume de poros que partículas menores, que também estão relacionadas ao aumento da superfície específica e a reação com o solo.

O crescimento inicial em campo mostrou que a utilização do biocarvão de cavacos em plantios de *P. taeda* proporcionou ganhos no crescimento do povoamento. Considerando um limite de probabilidade de erro de 18%, o crescimento volumétrico das árvores de *P. taeda* foi afetado positivamente pela utilização do biocarvão como condicionador de solo, após 30 meses em campo. Vale ainda ressaltar que, o tratamento com a aplicação de 10 t ha⁻¹ de biocarvão, produziu um volume estimado por hectare 50% superior ao tratamento testemunha. Do ponto de vista silvicultural, isto pode ser interessante pelo mais rápido recobrimento de área proporcionado pelas plantas desenvolvidas com o solo incorporado com biocarvão e, com isso, uma menor incidência de mato-competição e até mesmo, um adiantamento no primeiro desbaste. Isto poderia justificar o investimento de produção, transporte e aplicação do biocarvão em povoamentos de *P. taeda*. Adicionalmente foi possível estimar que, para o volume por hectare, aos 30 meses de idade, a aplicação de NPK foi equivalente a 3,8 t ha⁻¹ de biocarvão.

Assim, o uso do biocarvão como componente de substrato para a produção de mudas e como condicionador de solo apresenta potencial para utilização em plantios florestais. Entretanto, é necessária a elaboração de estudos complementares para que o biocarvão possa ser recomendado em escala comercial e do ponto de vista prático.

APÊNDICES

APÊNDICE 1.	ANÁLISE DE VARIÂNCIA DA ANÁLISE ELEMENTAR DOS SUBSTRATOS FORMULADOS COM DIFERENTES PROPORÇÕES DE BIOCARVÃO DE SERRAGEM DE PÍNUS	110
APÊNDICE 2.	ANÁLISE DE VARIÂNCIA DO TEOR DE VOLÁTEIS, DAS CINZAS E DO C FIXO DOS SUBSTRATOS FORMULADOS COM DIFERENTES PROPORÇÕES DE BIOCARVÃO DE SERRAGEM DE PINUS.....	110
APÊNDICE 3.	ANÁLISE DE VARIÂNCIA DA ALTURA (A) AOS 120 (A 120), 240 (A 240) E 300 (A 300) DIAS, DO DIÂMETRO (D) AOS 300 DIAS (D 300), DA MASSA SECA DA PARTE AÉREA (MSPA), RADICULAR (MSR) E TOTAL (MST) DAS MUDAS SEMINAIS DE PINUS PRODUZIDAS NOS SUBSTRATOS FORMULADOS COM DIFERENTES PROPORÇÕES DE BIOCARVÃO	111
APÊNDICE 4.	ANÁLISE DE VARIÂNCIA DO ENRAIZAMENTO AOS 60, 90 E 150 DIAS DAS MUDAS CLONAIIS DE PINUS PRODUZIDAS NOS SUBSTRATOS FORMULADOS COM DIFERENTES PROPORÇÕES DE BIOCARVÃO	111
APÊNDICE 5.	ANÁLISE DE VARIÂNCIA DA ALTURA AOS 150 (A 150), 270 (A 270) E 330 (A 330) DIAS, DO DIÂMETRO AOS 300 DIAS (D 300), DA MASSA SECA DA PARTE AÉREA (MSPA), RADICULAR (MSR) E TOTAL (MST) DAS MUDAS CLONAIIS DE PINUS PRODUZIDAS NOS SUBSTRATOS FORMULADOS COM DIFERENTES PROPORÇÕES DE BIOCARVÃO	112
APÊNDICE 6.	ANÁLISE DE VARIÂNCIA DO CARBONO, DO NITROGÊNIO E DAS RELAÇÕES C/N, H/C E O/C NOS SOLOS INCORPORADOS COM DIFERENTES DOSES DE BIOCARVÃO APÓS 12 MESES DA APLICAÇÃO EM VIVEIRO	113
APÊNDICE 7.	ANÁLISE DE VARIÂNCIA DO DIÂMETRO, DA ALTURA E DA MASSA SECA DA PARTE AÉREA (MSPA) DAS MUDAS DE PÍNUS NAS DIFERENTES CLASSES GRANULOMÉTRICAS E DOSES DE BIOCARVÃO APLICADO APÓS SETE MESES DE CRESCIMENTO	114
APÊNDICE 8.	ANÁLISE DE VARIÂNCIA E ESTATÍSTICA DA REGRESSÃO DO DIÂMETRO DE <i>Pinus taeda</i> APÓS 12 MESES DA APLICAÇÃO DE BIOCARVÃO AO SOLO	114
APÊNDICE 9.	ANÁLISE DE VARIÂNCIA E ESTATÍSTICA DA REGRESSÃO DA ALTURA DE <i>Pinus taeda</i> APÓS 12 MESES DA APLICAÇÃO DE BIOCARVÃO AO SOLO	115
APÊNDICE 8.	ANÁLISE DE VARIÂNCIA E ESTATÍSTICA DA REGRESSÃO DO DIÂMETRO DE <i>Pinus taeda</i> APÓS 30 MESES DA APLICAÇÃO DE BIOCARVÃO AO SOLO	115
APÊNDICE 9.	ANÁLISE DE VARIÂNCIA E ESTATÍSTICA DA REGRESSÃO DA ALTURA DE <i>Pinus taeda</i> APÓS 30 MESES DA APLICAÇÃO DE BIOCARVÃO AO SOLO	116
APÊNDICE 10.	ANÁLISE DE VARIÂNCIA E ESTATÍSTICA DA REGRESSÃO DO VOLUME INDIVIDUAL DE <i>Pinus taeda</i> APÓS 30 MESES DA APLICAÇÃO DE BIOCARVÃO AO SOLO.....	116
APÊNDICE 13.	ANÁLISE DE VARIÂNCIA E ESTATÍSTICA DA REGRESSÃO DO VOLUME POR HECTARE DE <i>Pinus taeda</i> APÓS 30 MESES DA APLICAÇÃO DE BIOCARVÃO AO SOLO	117

APÊNDICE 1. ANÁLISE DE VARIÂNCIA DA ANÁLISE ELEMENTAR DOS SUBSTRATOS FORMULADOS COM DIFERENTES PROPORÇÕES DE BIOCARVÃO DE SERRAGEM DE PÍNUS

Fonte de Variação	Graus de Liberdade	Quadrado Médio	F calculado	Significância
N				
Tratamento	5	0,0140	32,314	0,001
Resíduo	12	0,0004		
C				
Tratamento	5	269,9740	178,100	0,001
Resíduo	12	1,5159		
H				
Tratamento	5	0,0250	0,350	0,876
Resíduo	12	0,0714		
O				
Tratamento	5	15,9270	10,300	0,001
Resíduo	12	1,5463		

APÊNDICE 2. ANÁLISE DE VARIÂNCIA DO TEOR DE VOLÁTEIS, DAS CINZAS E DO C FIXO DOS SUBSTRATOS FORMULADOS COM DIFERENTES PROPORÇÕES DE BIOCARVÃO DE SERRAGEM DE PINUS

Fonte de Variação	Graus de Liberdade	Quadrado Médio	F calculado	Significância
C/N				
Tratamento	5	19,5290	113,200	0,001
Resíduo	12	0,1725		
H/C				
Tratamento	5	0,0000125	32,600	0,001
Resíduo	12	0,0000004		
O/C				
Tratamento	5	0,0030	2,930	0,059
Resíduo	12	0,0010		
Voláteis				
Tratamento	5	159,9780	32,321	0,001
Resíduo	12	4,9497		
Cinzas				
Tratamento	5	18,7658	23,732	0,001
Resíduo	12	0,7907		
C fixo				
Tratamento	5	259,8467	20,212	0,001
Resíduo	12	12,8561		

APÊNDICE 3. ANÁLISE DE VARIÂNCIA DA ALTURA (A) AOS 120 (A 120), 240 (A 240) E 300 (A 300) DIAS, DO DIÂMETRO (D) AOS 300 DIAS (D 300), DA MASSA SECA DA PARTE AÉREA (MSPA), RADICULAR (MSR) E TOTAL (MST) DAS MUDAS SEMINAIS DE PINUS PRODUZIDAS NOS SUBSTRATOS FORMULADOS COM DIFERENTES PROPORÇÕES DE BIOCÁRVÃO

Fonte de Variação	Graus de Liberdade	Quadrado Médio	F calculado	Significância
A 120				
Tratamento	5	0,3960	1,973	0,195
Resíduo	20	0,2007		
A 240				
Tratamento	5	1,3930	1,076	0,452
Resíduo	20	1,2946		
A 300				
Tratamento	5	22,8570	12,140	0,001
Resíduo	20	1,8828		
D 300				
Tratamento	5	1,1460	8,274	0,002
Resíduo	20	0,1385		
MSPA				
Tratamento	5	0,1790	4,0134	0,049
Resíduo	20	0,0446		
MSR				
Tratamento	5	0,0490	3,9247	0,041
Resíduo	20	0,0125		
MST				
Tratamento	5	0,4160	4,4279	0,035
Resíduo	20	0,0939		

APÊNDICE 4. ANÁLISE DE VARIÂNCIA DO ENRAIZAMENTO AOS 60, 90 E 150 DIAS DAS MUDAS CLONAIAS DE PINUS PRODUZIDAS NOS SUBSTRATOS FORMULADOS COM DIFERENTES PROPORÇÕES DE BIOCÁRVÃO

Fonte de Variação	Graus de Liberdade	Quadrado Médio	F calculado	Significância
Enraizamento 60 dias				
Tratamento	5	105,2980	2,135	0,399
Resíduo	30	49,3199		
Enraizamento 90 dias				
Tratamento	5	334,911	5,489	0,001
Resíduo	30	61,0149		
Enraizamento 150 dias				
Tratamento	5	334,911	5,704	0,001
Resíduo	30	58,7151		

APÊNDICE 5. ANÁLISE DE VARIÂNCIA DA ALTURA AOS 150 (A 150), 270 (A 270) E 330 (A 330) DIAS, DO DIÂMETRO AOS 300 DIAS (D 300), DA MASSA SECA DA PARTE AÉREA (MSPA), RADICULAR (MSR) E TOTAL (MST) DAS MUDAS CLONAIAS DE PINUS PRODUZIDAS NOS SUBSTRATOS FORMULADOS COM DIFERENTES PROPORÇÕES DE BIOCÁRVÃO

Fonte de Variação	Graus de Liberdade	Quadrado Médio	F calculado	Significância
A 150				
Tratamento	5	1,344	3,336	0,021
Resíduo	30	0,4029		
A 270				
Tratamento	5	7,284	3,553	0,012
Resíduo	30	2,0501		
A 330				
Tratamento	5	41,866	11,644	0,001
Resíduo	30	3,5955		
D 330				
Tratamento	5	1,585	25,978	0,001
Resíduo	30	0,0610		
MSPA				
Tratamento	5	0,6910	6,022	0,001
Resíduo	30	0,1147		
MSR				
Tratamento	5	0,155	6,017	0,001
Resíduo	30	0,0258		
MST				
Tratamento	5	1,498	6,461	0,001
Resíduo	30	0,2319		

APÊNDICE 6. ANÁLISE DE VARIÂNCIA DO CARBONO, DO NITROGÊNIO E DAS RELAÇÕES C/N, H/C E O/C NOS SOLOS INCORPORADOS COM DIFERENTES DOSES DE BIOCÁRVÃO APÓS 12 MESES DA APLICAÇÃO EM VIVEIRO

Fonte de Variação	Graus de Liberdade	Quadrado Médio	F calculado	Significância
C				
Granulometria	3	0,500	0,131	0,941
Dose	2	47,711	123,986	0,001
Interação	6	0,187	0,486	0,816
Resíduo	33	0,0004		
N				
Granulometria	3	0,000	1,926	0,136
Dose	2	0,000	4,663	0,013
Interação	6	0,000	1,852	0,106
Resíduo	33			
C/N				
Granulometria	3	0,000	29,263	0,182
Dose	2	0,000	3521,568	0,001
Interação	6	0,000	0,968	0,456
Resíduo	33	0,0004		
H/C				
Granulometria	3	0,312	4,912	0,004
Dose	2	9,353	147,125	0,001
Interação	6	0,220	3,454	0,006
Resíduo	33	0,0004		
O/C				
Granulometria	3	0,014	1,009	0,396
Dose	2	0,009	0,618	0,543
Interação	6	0,022	1,533	0,184
Resíduo	33	0,0004		

APÊNDICE 7. ANÁLISE DE VARIÂNCIA DO DIÂMETRO, DA ALTURA E DA MASSA SECA DA PARTE AÉREA (MSPA) DAS MUDAS DE PÍNUS NAS DIFERENTES CLASSES GRANULOMÉTRICAS E DOSES DE BIOCARVÃO APLICADO APÓS SETE MESES DE CRESCIMENTO

Fonte de Variação	Graus de Liberdade	Quadrado Médio	F calculado	Significância
DIÂMETRO				
Granulometria	3	0,533	0,394	0,758
Dose	2	1,568	1,159	0,325
Interação	6	1,743	1,288	0,287
Resíduo	33	1,353		
ALTURA				
Granulometria	3	38,722	1,067	0,375
Dose	2	11,067	0,305	0,739
Interação	6	34,206	0,945	0,475
Resíduo	33	36,292		
MSPA				
Granulometria	3	2,583	0,934	0,434
Dose	2	5,487	1,984	0,152
Interação	6	2,347	0,849	0,541
Resíduo	33	2,765		

APÊNDICE 8. ANÁLISE DE VARIÂNCIA E ESTATÍSTICA DA REGRESSÃO DO DIÂMETRO DE *Pinus taeda* APÓS 12 MESES DA APLICAÇÃO DE BIOCARVÃO AO SOLO

Estatística de regressão				
	R múltiplo			0,533
	R-Quadrado			0,284
	R-quadrado ajustado			0,252
	Erro padrão			0,261
	Observações			24
ANOVA				
	GL	MQ	F	Significância
Regressão	1	0,5937	8,7382	0,0073
Resíduo	22	0,0679		
Total	23			
	Coeficientes	Stat t		valor-P
β_0	2,05596	21,79603		2,192180E-16
Diâmetro 12 meses	0,04605	2,95605		7,300176E-03

APÊNDICE 9. ANÁLISE DE VARIÂNCIA E ESTATÍSTICA DA REGRESSÃO DA ALTURA DE *Pinus taeda* APÓS 12 MESES DA APLICAÇÃO DE BIOCARVÃO AO SOLO

Estatística de regressão				
	R múltiplo			0,543
	R-Quadrado			0,295
	R-quadrado ajustado			0,263
	Erro padrão			0,120
	Observações			24
ANOVA				
	GL	MQ	F	Significância
Regressão	1	0,1325	9,2068	0,0061
Resíduo	22	0,0144		
Total	23			
	Coeficientes	Stat t		valor-P
β_0	1,03081	23,74316		3,59186E-17
Altura 12 meses	0,02175	3,03426		0,006090479

APÊNDICE 10. ANÁLISE DE VARIÂNCIA E ESTATÍSTICA DA REGRESSÃO DO DIÂMETRO DE *Pinus taeda* APÓS 30 MESES DA APLICAÇÃO DE BIOCARVÃO AO SOLO

Estatística de regressão				
	R múltiplo			0,404
	R-Quadrado			0,163
	R-quadrado ajustado			0,125
	Erro padrão			0,525
	Observações			24
ANOVA				
	GL	MQ	F	Significância
Regressão	1	1,1809	4,2873	0,0503
Resíduo	22	0,2754		
Total	23			
	Coeficientes	Stat t		valor-P
β_0	6,56213	34,55191		1,15467E-20
Diâmetro 30 meses	0,06494	2,07059		0,050333118

APÊNDICE 11. ANÁLISE DE VARIÂNCIA E ESTATÍSTICA DA REGRESSÃO DA ALTURA DE *Pinus taeda* APÓS 30 MESES DA APLICAÇÃO DE BIOCARVÃO AO SOLO

Estatística de regressão				
	R múltiplo			0,143
	R-Quadrado			0,020
	R-quadrado ajustado			-0,024
	Erro padrão			0,470
	Observações			24
ANOVA				
	GL	MQ	F	Significância
Regressão	1	0,1017	0,4604	0,5045
Resíduo	22	0,2209		
Total	23			
	Coeficientes	Stat t		valor-P
β_0	3,13912	18,45495		7,10175E-15
Altura 30 meses	0,01906	0,67853		0,504513475

APÊNDICE 12. ANÁLISE DE VARIÂNCIA E ESTATÍSTICA DA REGRESSÃO DO VOLUME INDIVIDUAL DE *Pinus taeda* APÓS 30 MESES DA APLICAÇÃO DE BIOCARVÃO AO SOLO

Estatística de regressão				
	R múltiplo			0,396
	R-Quadrado			0,157
	R-quadrado ajustado			0,118
	Erro padrão			0,004
	Observações			24
ANOVA				
	GL	MQ	F	Significância
Regressão	1	0,00006175	4,0885	0,0555
Resíduo	22	0,00001510		
Total	23			
	Coeficientes	Stat t		valor-P
β_0	0,00953	6,77899		8,21633E-07
Volume individual 30 meses	0,00047	2,02199		0,055503669

APÊNDICE 13. ANÁLISE DE VARIÂNCIA E ESTATÍSTICA DA REGRESSÃO DO VOLUME POR HECTARE DE *Pinus taeda* APÓS 30 MESES DA APLICAÇÃO DE BIOCARVÃO AO SOLO

Estatística de regressão				
	R múltiplo			0,284
	R-Quadrado			0,080
	R-quadrado ajustado			0,039
	Erro padrão			6,100
	Observações			24
ANOVA				
	GL	MQ	F	Significância
Regressão	1	71,5970	1,9242	0,1793
Resíduo	22	37,2091		
Total	23			
	Coeficientes	Stat t		valor-P
β_0	19,65175	8,90266		9,57308E-09
Volume	0,50567	1,38715		0,179290758